



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Helena Pickler Fronza

Qualidade óssea em atletas: análise radiográfica de índices não convencionais e
sua correlação com a densidade mineral óssea

Florianópolis
2023

Helena Pickler Fronza

Qualidade óssea em atletas: análise radiográfica de índices não convencionais e sua correlação com a densidade mineral óssea

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Odontologia, área de Diagnóstico Bucal.

Orientadora: Profa. Mabel Mariela Rodriguez Cordeiro, Dra.

Coorientador: Prof. Gustavo Davi Rabelo, Dr.

Florianópolis

2023

Fronza, Helena Pickler

Qualidade óssea em atletas : análise radiográfica de índices não convencionais e sua correlação com a densidade mineral

óssea Helena Pickler Fronza ; orientadora, Mabel Mariela Rodríguez Cordeiro, coorientador, Gustavo Davi Rabelo, 2023.

64 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Odontologia. 2. Dimensão Fractal. 3. Radiografia Odontológica. 4. Densidade mineral óssea. 5. Exercício Físico. I. Cordeiro, Mabel Mariela Rodríguez. II. Rabelo, Gustavo Davi. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

Helena Pickler Fronza

Qualidade óssea em atletas: análise radiográfica de índices não convencionais e sua correlação com a densidade mineral óssea

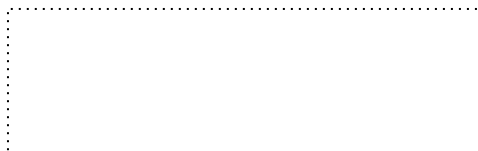
O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 10 de julho de dois mil e vinte e três, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Mabel Mariela Rodriguez Cordeiro, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

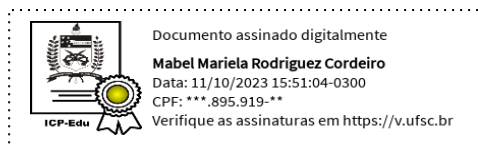
Profa. Ana Clara Loch Padilha, Dra.
Centro Universitário Avantis

Prof. Luiz Fernando Gil, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Odontologia.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Profa. Mabel Mariela Rodriguez Cordeiro, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia pela oportunidade de me oferecer formação e me tornar mestre, além de fazer o mesmo com tantos outros profissionais incríveis, é um prazer permanecer e crescer nesta casa.

Agradeço aos meus pais, que não somente a vida me deram, como empenham seus dias em me apoiar em todo o processo da minha vida profissional.

Aos meus colegas de trabalho, que foram compreensíveis toda vez que eu tive que me ausentar para a concretização desta pós-graduação.

Agradeço a minha orientadora, Mabel Mariela Rodríguez Cordeiro, que foi minha primeira grande imagem profissional na graduação, a quem devo toda a admiração e que me acolheu neste programa.

Ao meu coorientador, Gustavo Davi Rabelo, que é um profissional competente em todos os âmbitos da academia. Um incrível professor, pesquisador e pessoa. Será, para sempre, um exemplo a ser seguido e uma pessoa em minha vida a ser lembrada.

Aos colegas que estiveram ativamente na equipe de pesquisa, em especial ao João e à Giovanna. Os resultados são compartilhados entre a gente. Obrigada.

Aos participantes da pesquisa, que cederam seu tempo e disposição para ajudarem este trabalho a ser desenvolvido.

Ao Laboratório de Composição Corporal e ao professor Erasmo Benicio Santos de Moraes Trindade, do Departamento de Nutrição da UFSC, que abriu as portas do departamento para a concretização desta parceria.

Ao fim, agradeço aos membros da banca por colaborarem na melhora deste trabalho e que se dispuseram para me arguir.

“Fractal geometry is not just a chapter of mathematics, but one that helps every man to see the same world differently.” (MANDELBROT, 1975)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros radiográficos, convencionais e não convencionais, de qualidade óssea em radiografias periapicais digitais da mandíbula e de falange de atletas e pesquisar sua relação com a densidade mineral óssea (DMO) e outros dados clínicos. Os participantes selecionados eram atletas cuja atividade física excedia 8 horas semanais, em uma amostragem por conveniência. Estes foram submetidos a uma anamnese direcionada e exame físico e, posteriormente, foram realizados os seguintes exames complementares: radiografia periapical digital nas regiões de canino inferior e falange distal do segundo quirodáctilo, e a dois escaneamentos pela absorciometria por dupla emissão de raios-x (DXA), sendo uma varredura de fêmur bilateral ($37 \mu\text{Gy}$) e outra de corpo inteiro ($0,4 \mu\text{Gy}$). Do exame clínico foram coletados os dados de sexo, altura, peso, reposição/ingestão de vitamina D, uso de creatina e experiência de fraturas por estresse (FpE). Os atletas foram separados por modalidades de alto e baixo risco à FpE. Nas radiografias, foram selecionadas regiões de interesse de 132×132 pixels e obtidos os valores de dimensão fractal por dois métodos de processamento: binarização e usando imagens diretamente em escala de cinza (DF.b e DF.c, respectivamente). Além disso, a lacunaridade (Lac); média e desvio-padrão dos tons de cinza (MTC e DP, respectivamente) foram acessados. Os valores da densidade mineral óssea (g/cm^2) considerados foram: DMO de corpo todo (DMO.t) e de cabeça (DMO.c) na varredura total e de fêmur total (DMO.f) na varredura localizada. A análise de correlação foi feita pelo teste de Spearman, a concordância entre os métodos de processamento foi avaliada pelo teste de Bland-Altman e as comparações foram realizadas por testes T e Mann-Whitney. Ao todo, foram incluídos 29 indivíduos com média de idade de $29,7 \pm 8,2$ anos, com média de carga horária de exercícios semanal de $13,83 \pm 4,3$ horas. Para a região de canino, a média de DF foi de $1,23 \pm 0,04$ para DF.b e de $1,18 \pm 0,02$ para DF.c; já a Lac teve média de $0,11 \pm 0,02$. Para a falange foi de $1,29 \pm 0,03$ para DF.b e de $1,27 \pm 0,02$ para DF.c, enquanto a média de Lac foi de $0,10 \pm 0,02$. O valor médio da DMO.t foi de $1,25 \pm 0,11$, de $2,14 \pm 0,28$ para DMO.c e de $1,16 \pm 0,17$ para DMO.f. Os valores de MTC de canino correlacionaram positivamente com a DMO.f ($p 0,003$, $r 0,53$) e DMO.t ($p 0,01$, $r 0,44$). Os valores de DF entre os métodos de processamento foram concordantes entre si. Entre as análises comparativas, a DMO.t de atletas em uso de creatina foi menor que os não usuários ($p 0,003$) e maior no sexo masculino ($p 0,01$). Conclui-se que os índices radiográficos

convencionais e não convencionais podem ser avaliados tanto na mandíbula quanto na falange por meio do uso de radiografias digitais periapicais em atletas. A MTC da região de canino correlacionou-se com a DMO em duas resoluções. Para avaliação dos índices não convencionais de DF e Lac, o processamento usando imagens em escala de cinza revelou ser concordante com o método clássico por binarização, podendo ser usado sem que se manipulem as imagens radiográficas, dispendendo menos tempo.

Palavras-chave: Exercício físico. Radiografia dentária digital. Densidade Óssea.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate conventional and non-conventional bone quality radiographic parameters using digital periapical radiographs of the mandible and phalanx and, also, to assess their relation with bone mineral density (BMD) and other clinical data. The selected participants were athletes whose physical activities exceeded, weekly, a total of 8 hours, through a convenience sample distribution recruitment. The athletes were submitted to a directed anamnesis, physical examination, and the following complementary exams: digital periapical radiographs of the lower canine and the distal phalanx of the finger, and then submitted to dual x-ray absorptiometry (DXA) for the femur (37 μ Gy) and the whole-body scan (0.4 μ Gy). It was collected information on weight, height, vitamin D and creatine use, stress-fracture episodes (FpE), and then separated by modalities with high and low-risk of FpE. Radiographic analysis was performed at regions of interest of 132x132 pixels and the values of fractal dimension were obtained by two processing methods: binarization and using images directly in grayscale (FD.b and FD.c, respectively). Lacunarity (Lac); mean and standard deviation of the gray values (MTC and DP, respectively) were also assessed. Values of bone mineral density (g/cm^2) were considered, as follows: whole body (BMD.t) and head (BMD.c) from the total scan and total femur (BMD.f) from the localized scan. Correlation analysis was made using Spearman's test, the agreement between processing methods was evaluated by Bland-Altman, and the comparisons were made through T and Mann-Whitney tests. Twenty-nine individuals were included with a mean age of 29.7 ± 8.2 years, with a mean exercise hour per week of 13.83 ± 4.3 hours. The canine region revealed mean FD values of 1.23 ± 0.04 for FD.b and 1.18 ± 0.02 for FD.c. The phalanx analysis revealed the values of 1.29 ± 0.03 for FD.b and 1.27 ± 0.02 for FD.c. The mean value of BMD.t was 1.25 ± 0.11 , and 2.14 ± 0.28 for BMD.c, and 1.16 ± 0.17 for BMD.f. The canine MTC values correlated positively with BMD.f (p 0.003, r 0.53) and BMD.t (p 0.01, r 0.44). The values of FD of both processing methods were in agreement. Comparative analysis of BMD.t of athletes with creatine use was revealed to be lower than non-users (p 0.003), and higher in male individuals (p 0.01). It was concluded that conventional and non-conventional radiographic indexes can be evaluated in the mandible and in the phalanx of athletes assessed from periapical digital radiographs. The canine region MTC correlated with BMD in two resolutions. For the evaluation of non-conventional indexes such as FD and Lac, the processing method using gray-scale images was revealed to be in agreement with the

classic method through binarization, thus, it could be used without the manipulation of radiographic images being, then, less time consuming.

Keywords: Physical Exercise. Dental Digital Radiography. Bone Density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de fadiga do tecido ósseo: a relação entre carga, repetição e lesão, separada por tipo de osso. A curva superior demonstra os benefícios da melhora da resistência óssea; um osso mais resiliente é capaz de suportar maiores cargas e repetições antes de sofrer injúrias.....	23
Figura 2 – Tomadas radiográficas de canino inferior e falange distal.....	29
Figura 3 – Representação da demarcação do recorte das regiões de interesse de canino (A) e falange distal (C). Foram usadas para a obtenção dos dados as imagens dos recortes representados em B e D.....	30
Figura 4 – Passo a passo do processo de binarização e obtenção da dimensão Fractal (DF.b), média de tons de cinza (MTC) e desvio padrão de tons de cinza (DP). Interface do programa ImageJ (A). Região de interesse original (B). Imagem após aplicação do filtro gaussiano no valor de 35 (C). Após a subtração da imagem teste com a original (D). Adição de 128 no valor da imagem (E). Binarização da imagem (F). Erosão (G). Dilatação (H). Remoção de ruídos de valores menores que 2 pixels (I). Inversão (J). Esqueletonização (K). Interface do programa após a rodagem do Fractal Box Count (L). Interface do histograma, onde se obtém a MTC e DP (M).....	32
Figura 5 – Resultado do recorte da região de interesse após o processamento da imagem pelo método da binarização (A). Ao lado, a sobreposição da imagem binarizada sobre a imagem original, para que confirme a marcação das trabéculas ósseas com as linhas obtidas pela esqueletonização (B).....	33
Figura 6 – Interface do programa FracLac onde são obtidos os valores de DF e Lac. Foram destacadas as configurações utilizadas para a obtenção destes dados na imagem.....	34
Figura 7 – Interface do resultado do exame através do DXA em que se apresentam os valores referentes à densidade mineral óssea. Os valores utilizados para o trabalho estão grifados em vermelho.....	35
Figura 8 - Indivíduo em posição para o escaneamento de corpo inteiro pelo DXA....	36
Figura 9: Matriz de correlação entre as variáveis por meio da anamnese, DXA e das radiografias. Estão demarcadas em amarelo as correlações cujo nível de significância é $<0,05$	40
Figura 10: Relação entre a densidade mineral óssea de corpo todo e de fêmur com a média dos tons de cinza das radiografias de canino.....	40

Figuras 11 e 12: - Gráficos *Bland-Altman* dos valores de Dimensão Fractal pelo método de binarização revisado e escala de cinza. As linhas pontilhadas determinam a faixa de concordância entre os dois métodos de processamento, cujos valores são determinados pelo desvio-padrão das diferenças e pelo valor crítico (t). Os pontos dentro dessa faixa representam as diferenças entre as medidas em cada observação. Uma concordância aceitável indica-se pela maioria dos pontos dentro desta faixa, em um nível de significância de 5%.....41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição das frequências qualitativas.....	38
Tabela 2 – Média e desvio-padrão das variáveis quantitativas	39
Tabela 3 - Valores dos testes comparativos entre as variáveis da amostra.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CH	Carga Horária
DF	Dimensão Fractal
DF.b	Dimensão fractal pelo método de processamento por binarização
DF.c	Dimensão fractal pelo método de processamento com uso de imagens em escala de cinza
DMO	Densidade Mineral Óssea
DMO.c	Densidade Mineral Óssea de cabeça
DMO.f	Densidade Mineral Óssea de fêmur
DMO.t	Densidade Mineral Óssea de corpo inteiro
DP	Desvio-padrão dos tons de cinza
DXA	Absorciometria por Dupla Emissão de Raios-x
FpE	Fraturas por estresse
Lac	Lacunaridade
MTC	Média dos tons de cinza
ROI	Região de interesse
TO	Tecido ósseo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	A DIMENSÃO FRACTAL E OS DEMAIS PARÂMETROS RADIOGRÁFICOS.....	19
2.2	FISIOLOGIA ÓSSEA E O PÚBLICO ALVO.....	21
2.3	O EXAME DE ABSORCIOMETRIA E O PARÂMETRO ANALISADO	23
3	OBJETIVOS.....	24
3.1	OBJETIVO GERAL.....	24
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	DESENHO DO ESTUDO E SELEÇÃO DA AMOSTRA.....	25
4.1.1	Critérios de inclusão.....	25
4.1.2	Critérios de exclusão.....	25
4.2	ANAMNESE.....	26
4.3	EXAME CLÍNICO E RADIOGRÁFICO.....	26
4.4	OBTENÇÃO DE ÍNDICES RADIOGRÁFICOS NÃO CONVENCIONAIS....	28
4.4.1	Método de processamento pela binarização e esqueletonização para o cálculo da DF.....	30
4.4.2	Método de processamento com uso de imagens em escala de cinza para o cálculo da DF e Lac.....	32
4.5	ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO CORPORAL PELO DXA.....	35
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	36
5	RESULTADOS.....	38
6	DISCUSSÃO	43
7	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS.....	49
	APÊNDICE A – FICHA CLÍNICA DO PACIENTE.....	59
	APÊNDICE B – CÓDIGO DA MACRO PARA OBTENÇÃO DA DIMENSÃO FRACTAL PELO MÉTODO BINARIZADO	60
	ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	61

ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

.....63

1 INTRODUÇÃO

O osso é um tecido conjuntivo especializado, altamente adaptativo, dinâmico e metabolicamente ativo (FONSECA *et al.*, 2014). Esse tecido continuamente se modifica na presença ou ausência de estímulos mecânicos sobre a sua estrutura (RITCHIE; BUEHLER; HANSMA, 2009) em um processo conhecido como remodelação, que consiste na formação, manutenção e degradação da matriz óssea. Uma alteração ou desequilíbrio neste processo pode ocasionar a osteopenia ou osteoporose, com aumento da reabsorção óssea (KNUDSON, 2003). Estas condições alteram a integridade do tecido mineralizado, que tem como uma das suas funções a sustentação e a tolerância aos impactos derivados da movimentação e de possíveis traumatismos (LUPSA; INSOGNA, 2015).

As doenças relacionadas à osteopenia ou osteoporose são, comumente, percebidas em mulheres pós-menopausa, pacientes com deficiências de vitamina D, distúrbios do metabolismo ósseo, dentre outros (HART *et al.*, 2020). Normalmente, o exercício físico tem uma função importante na manutenção e melhora da saúde óssea. Isto ocorre por uma interdependência do tecido muscular e ósseo onde alterações de tamanho, densidade e força do músculo estão positivamente correlacionados com as mesmas alterações no osso pela ação mecânica (CIANFEROTTI; BRANDI, 2014).

A atividade física de alta intensidade e repetição, porém, pode exceder a capacidade de reparo normal do tecido ósseo e provocar o acúmulo e/ou a propagação de microfraturas, que não se reparam se não existir um balanço adequado entre reabsorção e aposição de novo osso, oportunizando o acontecimento de fraturas por estresse (FpE) (ZHAI *et al.*, 2019).

Tradicionalmente, para se estabelecer o risco a fraturas ou diagnosticar osteopenia/osteoporose ou, ainda, avaliar a eficácia de intervenções medicamentosas para essas doenças, faz-se necessário avaliar a densidade mineral óssea (DMO) (LICATA, 2009). A DMO é calculada como um produto final de avaliação da mineralização e porosidade utilizando Raios X e é expressa numericamente, em uma divisão de massa por área (g/cm^2) ou volume (g/cm^3), ou seja, a medida é expressa em quantidade de gramas do componente mineralizado/hidroxiapatita por centímetros quadrados ou cúbicos (RHO; KUHN-SPEARING; ZIOUPOS, 1998). Este índice trata-se de uma medida quantitativa da mineralização do tecido. Por isso, sabe-se que, para a detecção e investigação de FpE são necessários, além do conhecimento da DMO,

os fatores relacionados à arquitetura macro e microscópica do osso e do tecido ósseo. Estes, considerados relativos à qualidade óssea: a organização dos componentes do tecido, a geometria e distribuição trabecular que, quando alteradas, podem ocasionar uma condução inefetiva das cargas e facilitar a ocorrência de fraturas patológicas (ZEBAZE; EBELING, 2022).

Para a quantificação da densidade óssea corporal, comumente é utilizado o exame denominado absorciometria de dupla emissão de raios-x (DXA, da sigla em inglês *dual-energy X-ray absorptiometry*) (SHEPHERD *et al.*, 2017). Além disso, outros exames de imagem e laboratoriais também podem ser empregados para a avaliação da arquitetura óssea, como as radiografias convencionais, tomografias computadorizadas, microtomografias e, também, a histomorfometria (CAMBRAIA FARIA *et al.*, 2021a; GAÊTA-ARAUJO *et al.*, 2019).

No entanto, o custo e a complexidade para a realização destes exames mais robustos ou de maior resolução para avaliar a estrutura óssea, tanto cortical quanto trabecular, podem limitar seu uso rotineiro no acompanhamento de pacientes (GERAETS *et al.*, 2007). A radiografia periapical, por outro lado, é um método de diagnóstico por imagem que utiliza baixas doses de radiação para os ossos maxilares (GIJBELS *et al.*, 2005) e é usada como exame cotidiano em odontologia do esporte (ASHLEY *et al.*, 2015). Além disso, pode ser usada para avaliar o padrão ósseo trabecular e a microarquitetura óssea, assim como outras radiografias odontológicas (POTHUAUD *et al.*, 2000).

Com este exame, existem alguns índices que podem ser aferidos baseados em cálculos envolvendo a matemática não-Euclidiana, considerados índices não convencionais. Estes índices são acessados por meio da análise da textura da imagem ou da distribuição espacial de seus componentes, todos ligados à avaliação organizacional e aferição de complexidade estrutural (IRIE *et al.*, 2018). Dentre eles, existe a dimensão fractal. O termo “fractal” caracteriza objetos que não apresentam variação de forma, mesmo quando a escala de análise for alterada (SÁNCHEZ; UZCÁTEGUI, 2011). Esta característica do objeto se chama autossimilaridade. Isto quer dizer que diferentes recortes do mesmo artefato são similares, mesmo quando vistos de perspectivas e tamanhos diferentes (DE ASSIS *et al.*, 2008). A dimensão fractal (DF) é aplicada na avaliação do tecido ósseo (GAÊTA-ARAUJO *et al.*, 2019) por apresentar tal característica. A lacunaridade é outro índice que avalia a heterogeneidade de uma textura (PALANIVEL *et al.*, 2020a) e pode ser combinada

com a DF para complementar a análise óssea, refletindo em uma averiguação da organização da matriz óssea de forma mais completa. Diferentes texturas podem apresentar a mesma DF, mas a Lac varia de acordo com a distribuição espacial das trabéculas ósseas. Logo, valores de Lac se apresentarão maiores quando houver mais variância translacional da arquitetura avaliada, geralmente presente em patologias ósseas como a osteoporose (PALANIVEL, et al., 2020).

A literatura ainda apresenta lacunas em relação ao uso da DF e Lac em radiografias odontológicas. Uma delas é a não concordância entre os estudos que visam estabelecer uma correlação com a DMO obtida pelo DXA para avaliação do osso osteoporótico, a doença óssea mais estudada, e isto, provavelmente, se deve à falta de padronização do método de cálculo e processamento das imagens (FRANCIOTTI *et al.*, 2021; KATO *et al.*, 2020). Grande parte dos estudos usando a análise fractal são feitos com pacientes diagnosticados com alguma doença do metabolismo ósseo. Até o momento da realização deste trabalho, não se conhece nenhum estudo que abordou essa relação em um público de atletas, com o intuito de mapeamento de suas possíveis aplicações ou de identificar se existe um padrão específico em indivíduos normoreativos em relação à análise de índices radiográficos não-convencionais. Além disso, não se tem estabelecida a correlação entre os padrões de análise radiográfica não convencionais em ossos de diferentes processos de ossificação e, também, sem análise desses índices em conjunto com suas variáveis relacionadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A DIMENSÃO FRACTAL E OS DEMAIS PARÂMETROS RADIOGRÁFICOS

Dentre os exames de imagem utilizados em rotina do cirurgião-dentista, o mais corriqueiro é a radiografia. Trata-se de uma projeção bidimensional de sombras, adquiridas através de radiação X. Esta projeção provê uma imagem que varia entre o preto e o branco, com tons intermediários de cinza (WHITE; PHAROAH, 2014). Objetos irradiados que absorvem pouca radiação conferem imagens com tons mais próximos ao preto e são considerados radiolúcidos. Enquanto isso, os que mais absorvem a radiação são considerados radiopacos, com maiores tons de branco na projeção (BUSHONG, 2020).

Para a avaliação destes tons, é utilizado o histograma. Em análise de imagem, esta é uma ferramenta que demonstra a distribuição das escalas de cinza da projeção, denotando a frequência de cada valor de cinza na região de interesse. Para a imagem de 8 *bits*, os valores encontrados variam de 0 a 255. Dadas estas variações de tons, é possível que diferentes substratos sejam distinguíveis e analisados por sua absorbância da radiação. Deve-se lembrar que, por se tratar de um exame bidimensional, existe a sobreposição das estruturas anatômicas na mesma imagem (PIETKA, 2000)

Outro parâmetro utilizado é a DF. Este método consegue trabalhar com as imagens em suas totalidades de tons de cinza, ou pelo processo de binarização da projeção, onde apenas o preto e o branco são considerados. Este parâmetro envolve demonstrar, em um valor matemático, o quão ocupado um espaço métrico é pela estrutura estudada, ou seja, obtém o grau de complexidade de uma forma (SOLTANI *et al.*, 2021). No caso do presente trabalho, o quanto o objeto de estudo (trabécula óssea) ocupa o recorte da imagem a ser analisada.

Para a obtenção da DF nas radiografias odontológicas, um método foi proposto baseado na binarização (WHITE; RUDOLPH, 1999), onde se faz necessário realizar uma sequência de preparo e processamento da imagem radiográfica, que foi inicialmente descrito na literatura pelos autores White & Rudolph (1999). Depois de binarizada e processada, obtém-se uma imagem esqueletonizada a partir da imagem inicial, representando a estrutura trabecular por meio de um esqueleto linear. Como explicitado, existem, também outros métodos de processamento que são utilizados e

que não realizam a binarização, usando diretamente a imagem em escala de cinza para a obtenção da DF (NAYAK; MISHRA; JENA, 2018; RABELO *et al.*, 2018a).

Este método de processamento elimina possíveis problemas no processo de binarização, pois utiliza a distribuição dos tons de cinza como fator para análise (IRIE *et al.*, 2018) e, portanto, exime a manipulação da radiografia original para obter os dados necessários. A partir da escolha de uso de processamento, também existem diferentes métodos de cálculo que podem ser aplicados para obter a DF, sendo o mais frequentemente utilizado e o mais acessível deles, o método de “*box-counting*”, que subdivide a imagem em grades e considera o grau de preenchimento desses boxes (KATO *et al.*, 2020).

Outro índice que também pode ser acessado na avaliação organizacional e espacial do osso é a lacunaridade (Lac), que é considerada uma medida complementar à DF, já que objetos com a mesma DF podem obter valores de Lac diferentes (KOVÁCS *et al.*, 2022). Enquanto a dimensão fractal mede o quão preenchido está o espaço em uma posição da imagem, a Lac quantifica como o espaço está preenchido, (BACKES; BRUNO, 2006) pelo seu grau de invariância à translação que a imagem estudada apresenta. Ou seja, a maneira como os pixels estão distribuídos e organizados em cada região da imagem.

O objetivo deste parâmetro é avaliar a heterogeneidade de um tecido, através de sua microarquitetura, por meio da avaliação da distribuição e tamanho das lacunas ou *gaps* no espaço analisado, cujas alterações podem representar um índice para o aumento de risco a fraturas. Quanto maior a lacunaridade do padrão espacial, maior será a variação da distribuição dos vazios na imagem e menos uniforme será a sua textura (PLOTNICK *et al.*, 1996). Logo, a abordagem da Lac parece ser apropriada para obter informações sobre a interconectividade das trabéculas ósseas (ZAIA, 2015).

Estas técnicas já têm aplicação conhecida em estudos de morfologia microvascular (POPOVIC *et al.*, 2018), diagnóstico histopatológico (CAMBRAIA FARIA *et al.*, 2021b), atividade de córtex cerebral (VARLEY *et al.*, 2020), dentre outras aplicações, mesmo além das áreas da saúde (ARSENIU; MACFARLANE, 2021), e podem ser realizados em imagens bidimensionais, para a estimação da complexidade estrutural dos elementos a serem estudados.

O uso desses parâmetros vem de encontro com a necessidade de obter formas não invasivas para avaliar a microarquitetura óssea, principalmente em

pacientes com exigência mecânica (MACINTYRE; LORBERGS, 2012). Por tratar-se de um exame de textura, do arranjo estrutural e da distribuição dos componentes do osso, já é utilizada a técnica na odontologia para avaliação do osso alveolar em pacientes com doença periodontal (SENER; CINARCIK; BAKSI, 2015) e, também, como preditor da estabilidade e osteointegração da instalação de implantes dentários (MISHRA *et al.*, 2022).

Da mesma maneira, esses índices não-convencionais também foram utilizados em estudos que buscaram correlacionar os valores de Lac e DF em pacientes com comprometimentos sistêmicos que podem alterar a saúde óssea geral. Em mulheres pós-menopausa, já se encontra uma associação positiva entre índices radiomorfométricos convencionais mandibulares e a DMO obtida pelo DXA (OKABE *et al.*, 2008; TRIANTAFYLLOPOULOS *et al.*, 2023). A maioria dos estudos que buscou a correlação entre pacientes com patologias ósseas e DF utilizou as radiografias panorâmicas para este fim, apesar de as radiografias periapicais apresentarem maior grau de acurácia quando houve comparação entre grupos. Quanto à forma de avaliação, o software ImageJ é o mais prevalente para este fim e, na avaliação do osso trabecular, também se utilizam ROIs de formato quadrado (KATO *et al.*, 2020).

Quanto ao uso da análise fractal com radiografias para a identificação de pacientes osteoporóticos, a literatura é conflitante. Foram encontrados estudos que demonstram aumento de DF em indivíduos osteoporóticos e saudáveis, enquanto outros encontraram o contrário, apesar de a revisão sistemática não discriminar as regiões de interesse e tipo de osso analisadas (FRANCIOTTI *et al.*, 2021). No contexto do público de atletas ainda não há conhecimento do uso destas técnicas, mas entende-se que o benefício com o mapeamento de pacientes com maior risco a fraturas por estresse é eminente.

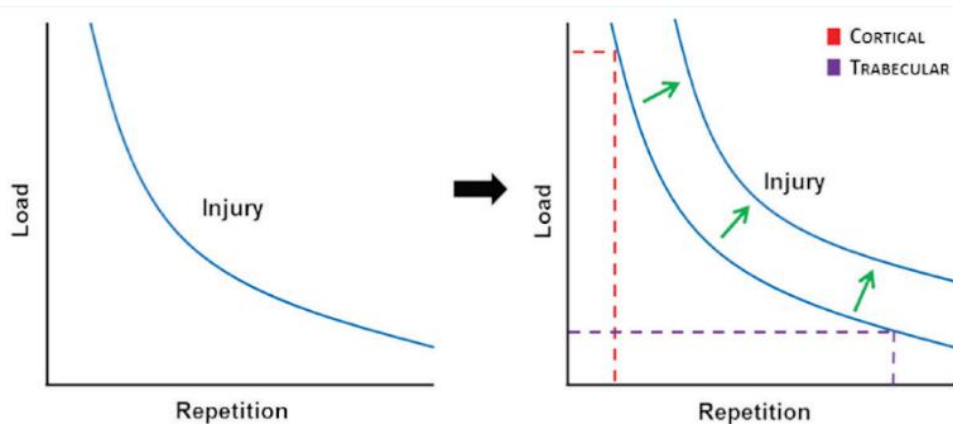
2.2 FISIOLOGIA ÓSSEA E O PÚBLICO-ALVO

O osso é conformado por uma porção orgânica, que compreende 35% da matriz extracelular, enquanto 65% desta é constituída por uma porção inorgânica. Ambas, combinadas, conferem resistência à fratura e deformação ao osso. Este, portanto, é considerado uma estrutura nem dúctil, nem frágil. (JUNIOR *et al.*, 2008).

As fraturas patológicas derivadas de alta transferência de energia (traumáticas) são causadas, tradicionalmente, pela descontinuidade da região

cortical. O osso trabecular tem uma capacidade maior de ceder ao esforço mecânico repetitivo, apesar de ser mais sensível a cargas maiores (BEAUPIED; LESPESSAILLES; BENHAMOU, 2007) Esta relação pode ser vista no gráfico apresentado na figura 1.

Figura 1 - Curva de fadiga do tecido ósseo: a relação entre carga, repetição e lesão, separada por tipo de osso. A curva superior demonstra os benefícios da melhora da resistência óssea; um osso mais resiliente é capaz de suportar maiores cargas e repetições antes de sofrer injúrias.



Fonte: adaptação do livro de Nordin e Frankel, 2012.

O osso sofre microdanos em sua estrutura causados pela exigência mecânica do exercício. Paradoxalmente, estes microdanos são uma forma adaptativa do osso de dissipar energia e gerar mecanismos de sinalização para o seu próprio reparo, e que acontecem na porção trabecular (BURR, 2011). Dessa maneira, exemplifica-se o objetivo deste trabalho de avaliar a arquitetura e a composição radiográfica do osso trabecular.

Temporariamente, as propriedades mecânicas do osso são deterioradas com essas microfraturas, mas atrasam a ocorrência de uma fratura completa (VASHISHTH; BEHIRI; BONFIELD, 1997). As FpE ocorrem quando as cargas continuam a ser exercidas em repetição sobre aquela região, antes que exista o reparo completo (WARDEN; BURR; BRUKNER, 2006). A falta de períodos de recuperação após exercício, que acumulam fadiga muscular e do osso, associam estas fraturas, principalmente, com o público dos atletas. Sua prevalência é maior em mulheres, em modalidades do atletismo, em membros inferiores (BARRACK *et al.*, 2014). Porém, por tratar-se de lesões cujos sinais de desenvolvimento são sutis, uma padronização

do diagnóstico ainda não foi estabelecida (MENCINAS; NOON; HOCH, 2012). Logo, torna-se uma preocupação da equipe de saúde esportiva, já que a incidência dessas lesões tem aumentado (HAYASHI *et al.*, 2018).

Além disso, as FpE tornam o retorno ao esporte mais tardio e possuem maior morbidade que as fraturas traumáticas, já que existe uma condição subjacente para este desfecho, que precisa ser abordado, além da fratura em si (LARSSON; EKSTRAND; KARLSSON, 2016). Ainda, a falta do estabelecimento de um programa de prevenção e mapeamento para estas fraturas já é relatada (HAYASHI *et al.*, 2018). Logo, este estudo promoveu a pesquisa no público de atletas com carga de treinamento semanal alta e diferentes modalidades, em vistas de uma demanda de saúde geral. O cirurgião-dentista poderia contribuir com a suspeita dos sinais destas condições por meio de anamnese, exame clínico e exames complementares odontológicos, como as radiografias, que são de baixo custo e realizadas rotineiramente (LINDH; HORNER; JONASSON; OLSSON *et al.*, 2008).

2.3 O EXAME DE ABSORCIOMETRIA E O PARÂMETRO ANALISADO

A qualidade óssea em si se refere à arquitetura, anatomia, o acúmulo de danos, sua atividade celular e a sua mineralização. A densidade mineral óssea (DMO) responde por aproximadamente 70% da força óssea (FRIEDMAN, 2006).

Para a obtenção de dados sobre a densitometria óssea, a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) é a técnica mais utilizada para a realização de estudos dessa natureza. O DXA possui vantagens como utilizar uma dose de radiação baixa para os pacientes e o tempo de realização do exame ser relativamente curto, com a aquisição de dados de alta qualidade, precisão e estabilidade inerente de calibração (ADAMS, 1997). Este funciona com uma fonte de radiação, emitindo duas energias de raios-x. O *software* de análise do equipamento gera imagens e medidas quantitativas do tecido ósseo e dos tecidos moles, considerando a diferença de atenuação das energias pelos tecidos incididos (EL MAGHRAOUI; ROUX, 2008).

As medidas conferidas pelo DXA podem gerar dados de composição corporal do corpo inteiro e, também, por região. São avaliados parâmetros de composição de tecidos moles, como massa livre de gordura e massa de gordura, além de dados sobre a saúde óssea (SHEPHERD *et al.*, 2017).

Para as medidas de tecido ósseo, o exame provê o conteúdo mineral ósseo (principalmente representado pela Hidroxiapatita) em gramas em uma área de tecido ósseo, por centímetro quadrado (g/cm^2), gerando a densidade mineral óssea (LUPSA; INSOGNA, 2015).

Os valores obtidos pelo exame são interpretados de acordo com o desvio-padrão apresentado entre os dados do paciente em questão e a média dos valores obtidos naquela faixa etária. Os valores de Escore-Z são utilizados quando tratar-se de mulheres com menos de 40 anos e homens com menos de 50 anos. Aos demais, utiliza-se o Escore-T (EL MAGHRAOUI; ROUX, 2008).

A DMO pode ser um parâmetro importante para o esporte de alto rendimento dado seu potencial de influenciar o treinamento, o desempenho e a prevenção de lesões (HERBERT *et al.*, 2021).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar parâmetros radiográficos convencionais e não convencionais de qualidade óssea trabecular em radiografias periapicais da mandíbula e falange de atletas, além de identificar a existência de relação desses parâmetros com a densidade mineral óssea.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Acessar os valores de DF em radiografias periapicais digitais da mandíbula e da falange distal de atletas, por meio de dois métodos distintos de processamento (pela binarização e pelo método baseado no uso direto das imagens em escala de cinza);
- Acessar os valores de Lac nas radiografias periapicais digitais da mandíbula e da falange distal de atletas por meio do processamento baseado no uso das imagens em escala de cinza;
- Identificar concordância entre os dois métodos de processamento para a avaliação da DF;
- Avaliar a DMO de atletas por meio da absorciometria de Raios X de dupla energia;
- Avaliar a correlação entre DF, Lac e DMO e dados clínicos;
- Comparar os dados de DF, Lac e DMO entre atletas de modalidades de alto e baixo risco a fraturas por estresse, suplementação e experiência de FpE.

4 METODOLOGIA

4.1 DESENHO DO ESTUDO E SELEÇÃO DA AMOSTRA

Este trabalho foi realizado por meio de um estudo clínico, analítico-observacional, transversal, quali e quantitativo com indivíduos fisicamente ativos. O processo de amostragem utilizado foi não randômico por conveniência. Os atletas foram convidados através de contatos prévios dos pesquisadores e por voluntariado através da divulgação da realização da pesquisa em mídias sociais. Foram realizados exames radiográficos da seguinte forma: intraoral por meio de tomada radiográfica periapical digital da região de canino inferior; extraoral por meio de tomada radiográfica periapical digital da falange distal do segundo quirodáctilo; e um exame de composição corporal pelo DXA para a obtenção de dados da DMO.

O projeto foi submetido à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Universidade Federal de Santa Catarina e aprovado sob o número CAAE 64697622.6.0000.0121 e parecer de aprovação de número 5833391 (Anexo A). Um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (Anexo B) foi disponibilizado aos participantes, após serem informados dos riscos e dos benefícios desta pesquisa, para que se voluntariassem aos procedimentos necessários para a realização da mesma.

4.1.1 Critérios de inclusão

Foram incluídos neste estudo: 1) atletas com 18 anos de idade ou mais, de ambos os sexos, que foram divididos em modalidades de resistência e demais modalidades; 2) que aceitaram participar do estudo mediante a assinatura do TCLE; 3) com, pelo menos, 6 meses de treinamento; e, 4) ao menos, 8 horas semanais de treinamento.

4.2.2 Critérios de exclusão

Os seguintes critérios de exclusão foram adotados: 1) pacientes que se opuseram aos métodos da pesquisa; 2) pacientes com doenças tireoidianas, diabetes,

síndromes, necessidades especiais ou mulheres pós-menopausa; 3) uso de medicações à base de antirreabsortivos e corticosteroides sistêmicos em uso contínuo por mais de 3 meses; 4) pacientes que apresentaram lesão periapical e/ou ausência de elementos dentários na região a ser radiografada; 5) ausência dos segundos quirodáctilos.

4.2 ANAMNESE

Os pacientes que se encaixaram nos critérios foram encaminhados à Clínica Odontológica de Pós-Graduação da UFSC e entrevistados pelos pesquisadores durante a realização da anamnese (Apêndice A), que incluiu dados sociodemográficos e de contato, além de informações sobre modalidades de esporte praticados, horas e frequência de treinamento semanal; ingestão de medicamentos, suplementação e histórico médico. Os dados coletados foram tabulados em uma planilha Excel® (Microsoft® Corporation, Redmond, WA, EUA) e as informações qualitativas (ex: uso de creatina, uso de vitamina D, experiência de FpE) receberam códigos para a realização da análise estatística. Para preservar o sigilo do paciente, os nomes próprios foram substituídos por códigos para a realização das análises. Os atletas foram agrupados para as análises em dois grupos, baseados na participação de modalidades com maior caracterização de FpE para as análises comparativas, sendo o grupo de maior risco os que participavam em modalidades com a maior incidência deste fenômeno (*weightlifting*, triatlo e atletismo) (HAYASHI *et al.*, 2018; ROGERS *et al.*, 2021) e menor risco (demais modalidades).

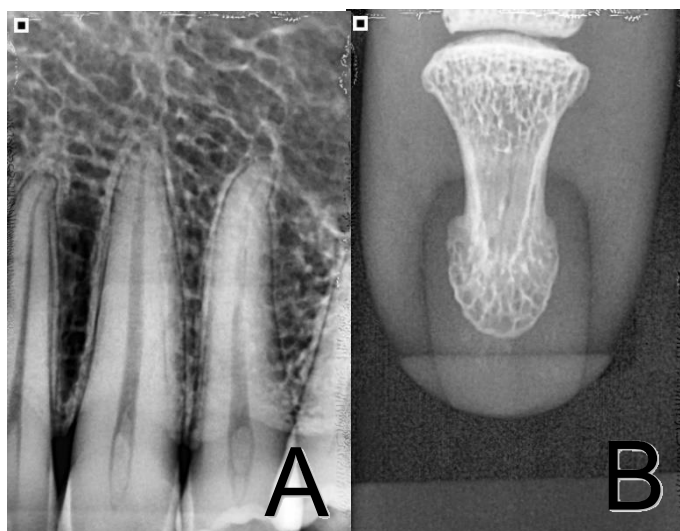
4.3 EXAME FÍSICO E RADIOGRÁFICO

Os voluntários foram submetidos a um exame físico intraoral, em posição de decúbito dorsal, posicionados na cadeira odontológica, sob iluminação artificial, para que se avaliassem alterações anatômicas, ausências dentárias e tratamentos reabilitadores que pudessem interferir com a avaliação do tecido ósseo nas tomadas radiográficas. Os atletas também foram questionados neste momento sobre sintomas de apertamento dental ou queixas de dores musculares ou orofaciais.

As radiografias foram capturadas com um sensor intraoral digital tamanho 1 (New IDA T1, Dabi Atlante) em conjunto com uma unidade de parede para captura de

raios-x intraorais (Heliodent Plus, Dentsply Sirona), sendo sob corrente elétrica de 10mA e 70kVp de tensão. As áreas capturadas de cada paciente foram: canino inferior (Figura 2A) e falange distal do segundo quirodáctilo (Figura 2B). Todas as radiografias foram realizadas no Setor de Radiologia Odontológica da UFSC.

Figura 2 - Tomadas radiográficas de canino inferior (A) e falange distal (B).



Fonte: elaborado pelo autor.

Os tempos de exposição das tomadas radiográficas intraorais e da mão foram de 0,16s e 0,12s, respectivamente. Para a padronização da distância, angulação vertical e horizontal do cone de captura com a área radiografada, foram utilizados posicionadores radiográficos (Indusbello®, Londrina, PR, Brasil). As respectivas imagens foram exportadas em formato TIFF para obtenção dos dados.

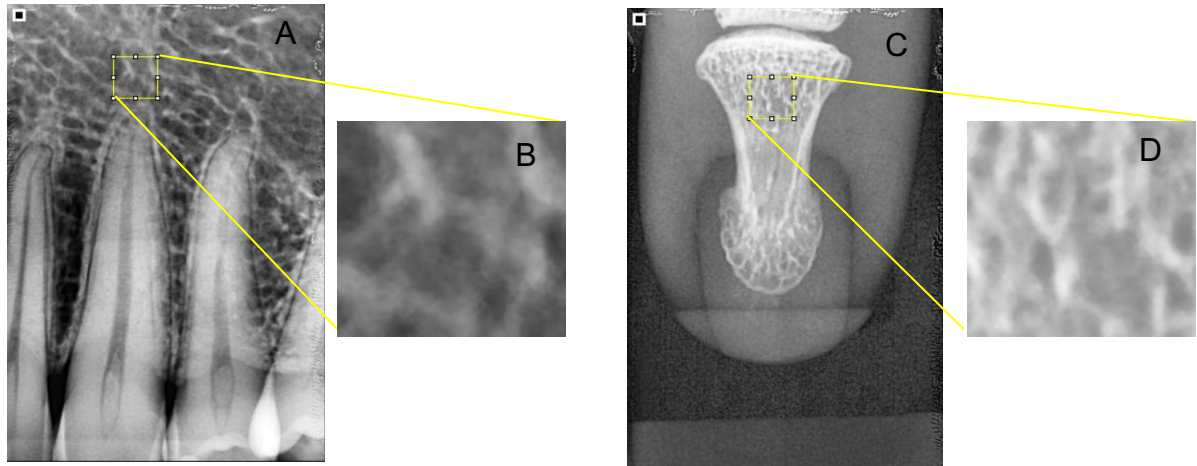
Os exames detalhados seguiram todas as normas de biossegurança e radioproteção (uso de materiais estéreis, luvas, gorros, jaleco, máscaras descartáveis, uso de aventais plumbíferos).

4.4 OBTENÇÃO DE ÍNDICES RADIOGRÁFICOS NÃO CONVENCIONAIS

As imagens foram numeradas de acordo com o código do paciente e exportadas ao software de análise Fiji/ImageJ (Versão 1.53, Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA), onde os dados de DF foram obtidos a partir de dois métodos de processamento de imagens: o método pela binarização clássico de White

e Rudolph (1999) modificado por da Silva et al. (2023) (DF.b) e pelo método baseado no uso de imagens diretamente em escala de cinza (DF.c). O outro índice radiográfico não convencional analisado foi a lacunaridade (Lac), nas imagens em escala de cinza. Já os índices convencionais, que são relativos aos tons de cinza na imagem também foram acessados, incluindo a média dos valores de cinza (MTC, soma dos valores de cinza de todos os pixels na área selecionada dividida pelo número de pixels) e desvio-padrão dos valores de cinza (DP). Dois pesquisadores calibrados selecionaram as regiões de interesse (ROI) a serem analisadas das radiografias periapicais digitais, com tamanho padronizado de 1,5mmx1,5mm (132x132 pixels). As regiões selecionadas foram: 1) osso trabecular a 1mm de distância da lâmina dura apical do canino inferior (ICC= 0,786) (Figura 3). O critério de escolha para esta região radiográfica é a de possuir menos acidentes anatômicos que possam interferir com a análise trabecular (CAMARGO *et al.*, 2017) e representar uma região do osso mandibular com menor interferência das trações musculares da face, que são um fator de remodelação dos ossos gnáticos (BUVINIC *et al.*, 2020); 2) porção média da região epifisária proximal da falange distal do segundo quirodáctilo (ICC= 0,447) (Figura 3). Por se tratar de um osso longo, foi preconizada a área epifisária, pois é a região com maior composição de osso esponjoso (OFTADEH *et al.*, 2015). Apesar de a correlação intraclasse da escolha das ROIs entre os avaliadores não atingir os valores satisfatórios para a falange, a diferença os valores de DF obtidos entre os mesmos não foi estatisticamente significativa quando realizado o teste T comparando os resultados dos dois operadores ($p=0,714$). Dessa maneira, explicita-se que mesmo a escolha da ROI com algum pequeno desvio de distância entre avaliadores, não foi capaz de alterar a DF em valores significativos, reiterando a reprodutibilidade desta técnica, fato este que já foi relatado por Shrout, Potter e Hildebolt em 1997. Para esta diferença, porém, foram utilizados os valores médios de DF, Lac, MTC e DP obtidos entre os avaliadores para as análises estatísticas. De cada ROI foram tabuladas as informações de: valores médios de cinza (MTC); desvio-padrão dos valores de cinza (DP); DF.b; DF.c e Lac.

Figura 3 – Representação da demarcação do recorte das regiões de interesse de canino (A) e falange distal (C). Foram usadas para a obtenção dos dados as imagens dos recortes representados em B e D.



Fonte: elaborado pelo autor.

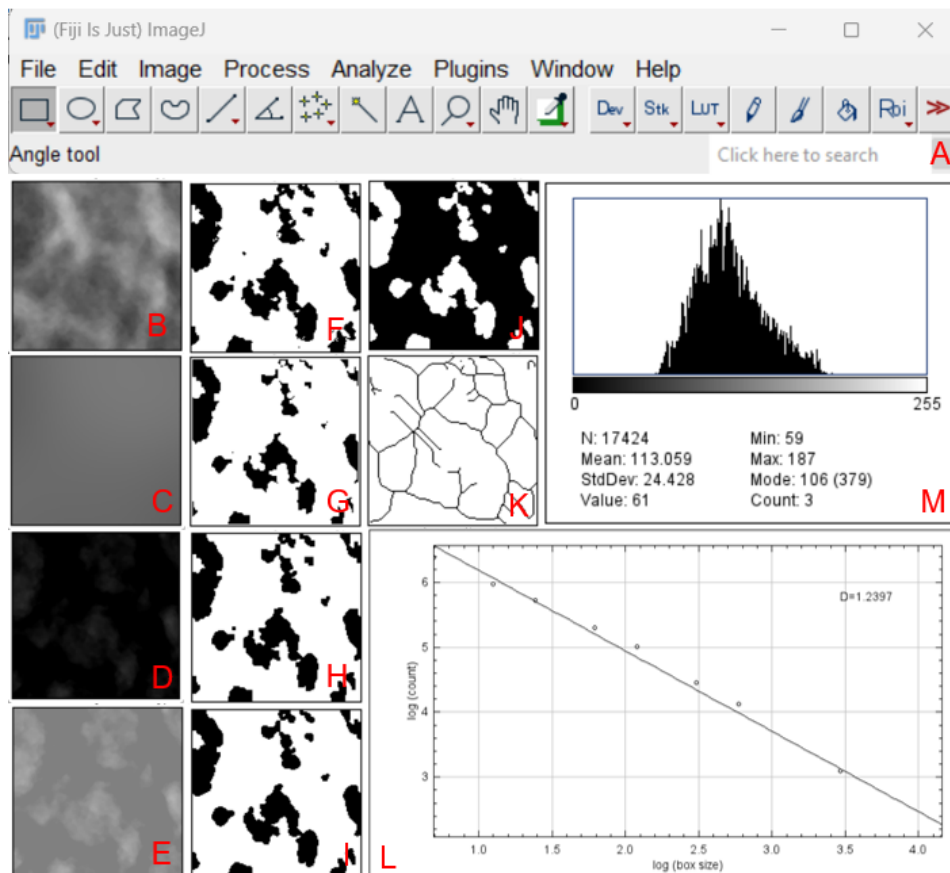
4.4.1 Método de processamento pela binarização e esqueletonização para o cálculo da DF

Para a obtenção de DF.b, foi utilizado o comando de Fractal Box Count, segundo o protocolo clássico de White e Rudolph (WHITE; RUDOLPH, 1999) modificado por Da Silva et al. (2023), este último realizado com a participação de integrante da equipe desta pesquisa, onde os ruídos da imagem de até 2 pixels são removidos (DA SILVA *et al.*, 2023). Para isto, as imagens devem ser abertas no *software* e alteradas para o formato de 8 bits, com a finalidade de obter até 256 tons de cinza na imagem. Logo após, foram realizadas as seleções das ROIs, de acordo com as localizações denominadas acima. As ROIs são duplicadas e têm seus nomes alterados para “original”. Neste momento, foram capturadas as informações derivadas do histograma (MTC e DP). Novamente, as mesmas ROIs são duplicadas e nomeadas como “teste”. Na ROI “teste” aplicou-se o filtro Gaussian Blur (Filtro Gaussiano) no valor de 35 e, após, foi utilizado o recurso *image calculator* e *subtract* da imagem teste com a original, para assim adicionar à imagem um valor de 128. A binarização foi realizada na sequência, seguindo para etapas de erosão, dilatação, remoção de ruídos, inversão e esqueletonização. Para a verificação de que a técnica foi realizada corretamente, é feita a transparência da imagem esqueletonizada sobre a imagem da ROI original (utilizando o *software* PowerPoint®), para que se confirme a coincidência

da marcação das trabéculas ósseas da radiografia com as linhas demarcadas pela técnica (Figura 5). Após, com a imagem eskeletonizada, o *Fractal Box Count* é aplicado e os valores são anotados. Para a automatização e padronização dos procedimentos no processamento da imagem para a obtenção da DF.b acima descritos, foi elaborada uma macro especialmente para o projeto, onde o código pode ser encontrado no Apêndice B. O uso da macro automatiza essa análise do passo do uso do Filtro Gaussiano em diante.

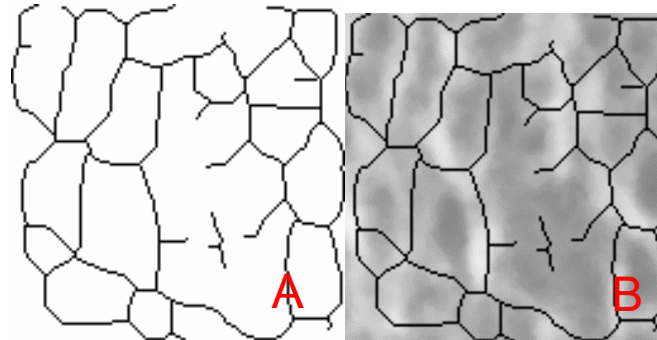
Figura 4 – Passo a passo do processo de binarização e obtenção da dimensão Fractal (DF.b), média de tons de cinza (MTC) e desvio padrão de tons de cinza (DP).

Interface do programa ImageJ (A). Região de interesse original (B). Imagem após aplicação do filtro gaussiano no valor de 35 (C). Após a subtração da imagem teste com a original (D). Adição de 128 no valor da imagem (E). Binarização da imagem (F). Erosão (G). Dilatação (H). Remoção de ruídos de valores menores que 2 pixels (I). Inversão (J). Esqueletonização (K). Interface do programa após a rodagem do Fractal Box Count (L). Interface do histograma, onde se obtém a MTC e DP (M).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Resultado do recorte da região de interesse após o processamento da imagem pelo método da binarização com o produto da esqueletonização revelando a estrutura linear que representa as trabéculas ósseas (A). Ao lado, a sobreposição da imagem binarizada sobre a imagem original, para que confirme a marcação das trabéculas ósseas com as linhas obtidas pela esqueletonização (B)



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Método de processamento com uso de imagens em escala de cinza para o cálculo da DF e Lac

Com as mesmas ROIs originais selecionadas, os recortes foram salvos em um diretório único, nominados de acordo com o código de cada paciente. Utilizando o *plug-in FracLac* (foi selecionado o método de avaliação da DF pelo método *Box Counting (BC)* utilizando as imagens em escala de cinza (sem necessidade de binarização), com a seleção do subtipo de método *gray 1*, e a opção de 9 *scan positions* (Figura 6). Do mesmo modo, para a automatização e padronização dos procedimentos de coleta de dados deste método, as análises foram realizadas em *loops* nas imagens do diretório da pesquisa, realizando o escaneamento pela ferramenta *Batch*. Foram coletados da planilha de resultados finais desta análise os valores de DF na coluna 6 e os valores da Lac na coluna 87.

Figura 6 – Interface do programa FracLac onde são obtidos os valores de DF e Lac. Foram destacadas as configurações utilizadas para a obtenção destes dados na imagem.

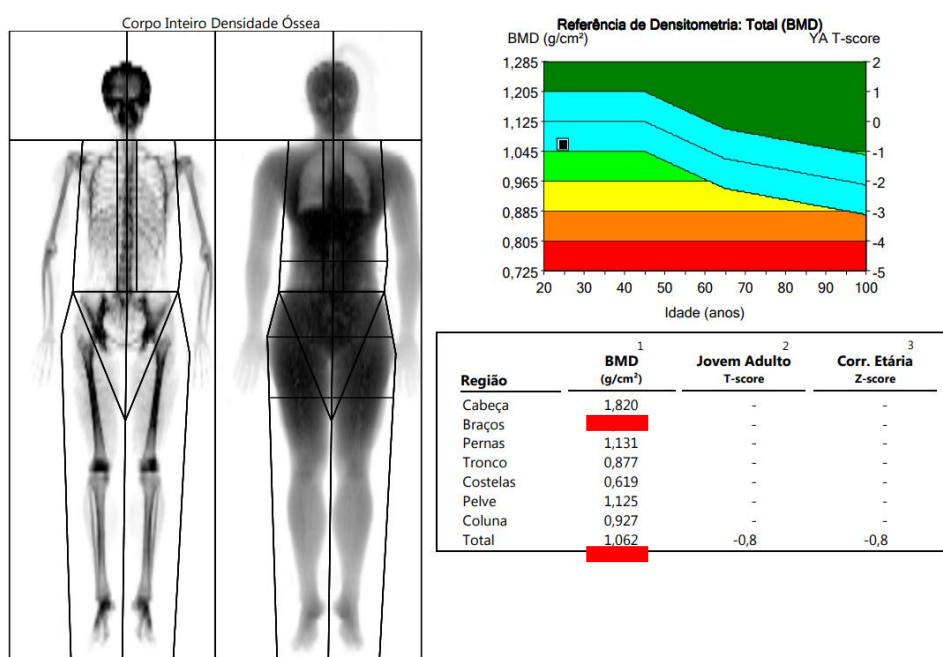


Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO CORPORAL E DMO PELO DXA

Para a coleta dos dados de DMO, uma pesquisadora treinada utilizou o DXA (Lunar Prodigy Advance, GE Medical Systems) e os dados foram exportados pelo *software* Encore (versão 10.51.006, GE Company) (Figura 7). Foram realizadas pela operadora as calibrações semanais e diárias no início de cada período de coleta. Previamente ao exame, os pacientes eram orientados à remoção de adornos de metal. Estes foram submetidos a um escaneamento de corpo inteiro, sob as configurações de 76kV de tensão, 0,15 mA de corrente e uma dose de 0,4 μ Gy; e fêmur bilateral, sob as configurações de 76kV de tensão, 3mA de corrente e uma dose de 37 μ Gy. Para ambos, os atletas foram posicionados em decúbito dorsal em relação ao feixe de raios-x, de acordo com as orientações do fabricante (Figura 8). Os dados utilizados para as análises de correlação foram a DMO de corpo inteiro (DMO.t) e DMO de cabeça (DMO.c) obtidas na varredura de corpo inteiro e a média da DMO de fêmur total (DMO.f), na varredura de fêmur bilateral.

Figura 7 – Interface do resultado do exame através do DXA em que se apresentam os valores referentes à densidade mineral óssea. Os valores utilizados para o trabalho estão grifados em vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Indivíduo em posição para o escaneamento de corpo inteiro pelo DXA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os atletas, ao final do período, receberam os resultados dos exames realizados e as orientações necessárias em relação aos achados radiográficos e de DMO. Como padrão do projeto, se alguma alteração da normalidade fosse percebida, o atleta era informado sobre a necessidade de buscar atenção de especialistas em endocrinologia ou na área da odontologia.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com a obtenção dos dados, os mesmos foram tabulados em Excel® analisados no *software* SPSS® (Versão 21, IBM®, Armonk, NY, EUA) e *Graphpad Prism* 9.0 (Software GraphPad, San Diego, CA, EUA). Foi realizada a análise de elementos *outliers* na amostra pelo teste de *Grubbs* em um conjunto de dados univariados. Após, as estatísticas descritivas das variáveis contínuas foram obtidas. Das mesmas variáveis, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk, para identificação da distribuição da normalidade dos dados.

Dessa maneira, optou-se por realizar o teste de correlação de Spearman, para confecção da matriz de correlação. O valor de r foi considerado para identificar a direção e magnitude da correlação. Os valores referência para r foram: muito forte quando maior ou igual a 0,9; forte quando de 0,7 a 0,89; moderada quando de 0,4 a 0,69 e fraca quando abaixo de 0,39 (BABA; VAZ; DA COSTA, 2014). Assim, para a

discussão dos dados consideraram-se as correlações moderadas, fortes e muito fortes. Os testes comparativos entre as variáveis dependentes e os fatores de comparação nominais utilizados foram os testes t-Student e o de Mann-Whitney.

Para o teste de concordância entre as duas metodologias de análise da DF, foi utilizado o método de Bland-Altman, que também é descrito como gráfico de diferenças, pois utiliza da média das diferenças entre as duas análises e cria limites de concordância para avaliar a consistência ou discordância entre os métodos. Foi considerado o valor de $p < 0,05$ para dados com significância estatística.

5 RESULTADOS

Foram coletados dados de 29 participantes desta pesquisa, sendo 20 (69%) do sexo masculino e 9 do sexo feminino (31%) com uma média de idade de 29,7 anos ($dp=8,2$). A carga de treinamento semanal destes atletas foi de 13,8h semanais ($dp=4,3$), onde homens e mulheres obtiveram carga de treinamento semanal sem diferença significativa ($p=0,472$).

Os dados de idade, carga horária semanal, peso, altura, DF.b_C e DP.C apresentaram distribuição não normal, e os demais parâmetros apresentaram distribuição normal. Além disso, foram identificados 4 *outliers* por meio do teste de Grubbs, mas os pesquisadores, ao avaliarem os dados destes elementos, verificaram que não faziam parte dos critérios de exclusão ou causariam interferência na qualidade da análise desta população.

A distribuição das frequências dos dados qualitativos obtidos pode ser vista na tabela 1, onde foram explicitados os dados dicotomizados a respeito de uso ou não de vitamina D, creatina, experiência de FpE entre os participantes de modalidades de alto e baixo risco à FpE. A média e o desvio padrão dos valores de peso, altura, DMO, DF, Lac, MTC e DP estão apresentados na tabela 2.

Tabela 1: Distribuição das frequências qualitativas

<i>Modalidade</i>	Alto risco	Baixo risco
	12(41,4%)	17(58,6%)
	Sim	Não
<i>Uso de creatina</i>	20(69%)	9(31%)
<i>Uso de vitamina D</i>	11(37,9%)	18(62,1%)
<i>Experiência de fratura por estresse</i>	2(6,9%)	27(93,1%)

Fonte: elaborado pelo autor

A análise gráfica da correlação dos parâmetros radiográficos com os parâmetros de DMO foram representados na Figura 9, com os valores de r . Os quadros destacados em amarelo representam correlação com valor de $p < 0,05$. Considerando as correlações com valor significativo de p , foram percebidas correlações moderadas e positivas entre: peso e altura; DMO.t e peso; MTC_C e DMO.t e DMO.f; DF.b_C e DF.c_C; MTC_fal e Lac_C. e negativas e moderadas entre

peso e DF.c_Fal; Lac_C e DF.c_C; Lac_Fal e DF.c_Fal; DP_C e DF.c_Fal. Ademais, foram encontradas correlações fortes entre as três DMOs.

Tabela 2: Média e desvio padrão das variáveis quantitativas

	Média	Desvio-padrão
Peso (kg)	71,85	12,32
Altura (cm)	171,4	8,84
DMO.t	1,258	,114
DMO.c	2,139	,280
DMO.f	1,168	,173
Z-escore.t	0,925	1,29
Z-escore.f	0,810	1,20
DF.b_C	1,23	,044
DF.b_Fal	1,29	,034
DF.c_C	1,18	,026
DF.c_Fal	1,27	,026
Lac.C	,116	,026
Lac.Fal	,108	,021
MTC.c	151,34	23,66
MTC.Fal	166,04	9,62
DP_C	20,76	2,22
DP_Fal	18,17	5,17

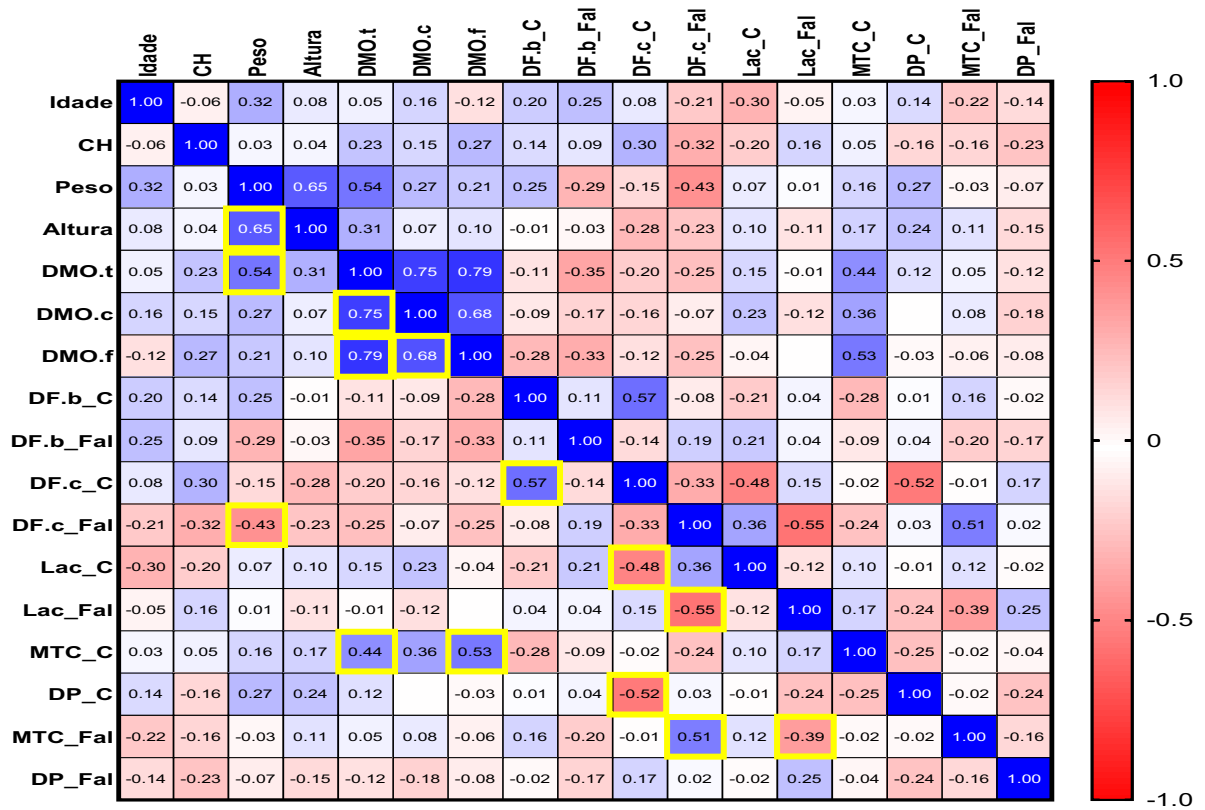
DMO: Densidade mineral óssea (t - corpo total; c – cabeça; f – média de fêmur total); DF.b: Dimensão Fractal pelo método da binarização, DF.c – Dimensão Fractal pelo método baseado nas imagens em escala de cinza; Lac: Lacunaridade; MTC: Média de Tons de Cinza; DP: Desvio-Padrão dos tons de cinza (sendo C – região de canino; Fal – região de falange)

Fonte: elaborado pelo autor

O gráfico de dispersão entre as variáveis de MTC.C e DMO.t e DMO.f pode ser visto na figura 10, em relação a uma linha de referência equacionada a partir do coeficiente de correlação entre os valores de DMO.f e DMO.t.

O gráfico de concordância de Bland-Altman foi utilizado para demonstrar o uso das duas técnicas de processamento de imagem para a análise de DF. O gráfico representado na figura 11 apresenta a diferença entre as medidas de DF.b_C e DF.c_C em função da média das duas medidas, enquanto a figura 12 apresenta os mesmos dados em relação às medidas e DF.b_Fal e DF.c_Fal. Os limites de concordância, definidos como duas linhas paralelas à linha média de diferenças, têm como valor o desvio-padrão multiplicado pelo nível de confiança (1,96). Estes valores mostram uma dispersão aceitável dos pontos dentro dessa faixa. Na visualização de ambos os gráficos, apenas 1 sujeito em cada gráfico foi discordante à média das diferenças das duas técnicas.

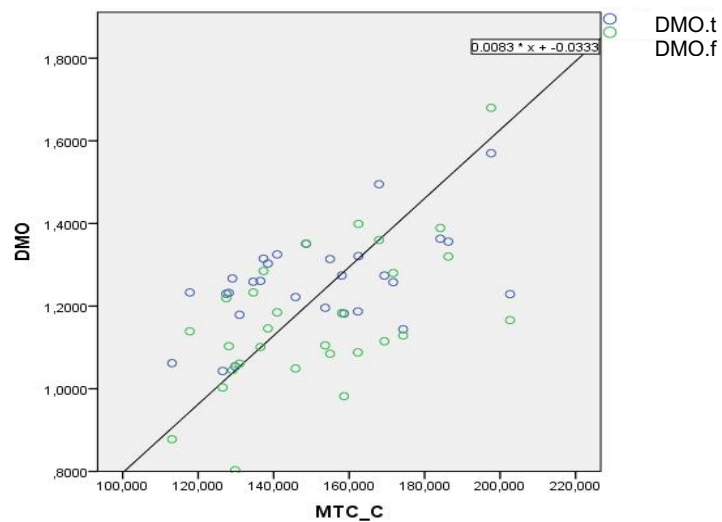
Figura 9: Matriz de correlação entre as as variáveis por meio da anamnese, DXA e



das radiografias. Estão demarcadas em amarelo as correlações cujo nível de significância é $p < 0,05$.

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 10: Relação entre a densidade mineral óssea de corpo todo e de fêmur com a média dos tons de cinza das radiografias de canino.

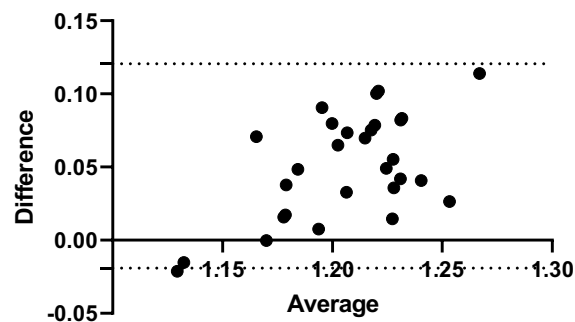


Fonte: elaborado pelo autor

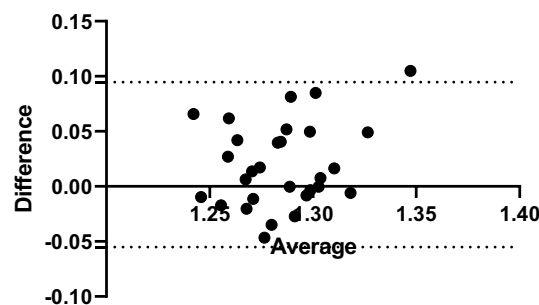
Os valores dos testes comparativos podem ser vistos na tabela 3. Não houve diferenças entre os sexos e os parâmetros avaliados, exceto entre DMO.t ($p < 0,05$), onde os homens apresentaram média de DMO.t maior.

Figuras 11 e 12: - Gráficos *Bland-Altman* dos valores de Dimensão Fractal pelo método de binarização revisado e escala de cinza. As linhas pontilhadas determinam a faixa de concordância entre os dois métodos de processamento, cujos valores são determinados pelo desvio-padrão das diferenças e pelo valor crítico (t). Os pontos dentro dessa faixa representam as diferenças entre as medidas em cada observação. Uma concordância aceitável indica-se pela maioria dos pontos dentro desta faixa, em um nível de significância de 5%.

Difference vs. average: Bland-Altman of DF Canine



Difference vs. average: Bland-Altman of FD Falange



Erro médio da região de interesse em canino: 0,05; limites de concordância (95%): -0,01 a 0,12.

Erro médio da região de interesse em falange: 0,01; limites de concordância (95%): -0,05 a 0,09.

Fonte: elaborado pelo autor

Quanto aos pacientes que fazem uso de creatina há mais de 6 meses, estes não apresentaram diferença significativa nos parâmetros avaliados com os que não fazem uso, exceto para o exame de DMO.t, onde os usuários apresentaram menor DMO.t que os demais.

Tabela 3 - Valores dos testes comparativos entre as variáveis da amostra

	Sexo		Modalidade		Uso de creatina		Uso vitamina D		Experiência de FpE*	
	t	p	t	p	t	p	t	p	¶ z	p
DMO.t	2,586	§ 0,015	-0,835	0,411	3,239	§ 0,003	2,015	0,054	-1,463	0,177
DMO.c	0,184	0,855	0,118	0,907	1,86	0,074	1,128	0,269	-1,721	0,099
DMO.f	1,729	0,095	-0,418	0,679	1,942	0,063	1,667	0,107	-1,291	0,241
DF.b_C*	¶ -0,849	0,417	¶ 0,465	0,647	¶ 0,377	0,729	¶ -0,719	0,492	0,516	0,65
DF.b_Fal	-1,023	0,315	1,313	0,2	-0,608	0,548	-1,458	0,156	1,205	0,276
DF.c_C	-0,045	0,964	0,508	0,616	-1,34	0,191	0,7	0,49	0,172	0,897
DF.c_Fal	-1,755	0,091	0,862	0,396	-0,623	0,539	-1,48	0,15	1,722	0,099
Lac.C	-0,367	0,716	-0,004	0,995	1,056	0,3	0,168	0,867	0,689	0,542
Lac.Fal	0,405	0,689	-2,162	0,04	-0,68	0,946	0,186	0,854	0,172	0,897
MTC_C	1,475	0,152	-0,415	0,681	1,515	0,141	0,527	0,603	-1,893	0,059
MTC_Fal	-0,21	0,835	-0,003	0,997	-0,349	0,73	0,439	0,664	0,861	0,443
DP_C*	¶ -1,037	0,317	¶ 0,996	0,325	¶ -0,636	0,532	¶ -0,9	0,947	0,931	1
DP_Fal	-0,82	0,419	-1,057	0,3	-0,885	0,384	-1,848	0,076	-1,722	0,099

* Variáveis analisadas pelo teste de Mann-Whitney

¶ Considerar valor de z

§ Valores de significância <0,05

Fonte: Elaborado pelo autor

Também, não houve diferença entre as DMOs, DFs, Lac, MTCs e DPes entre as modalidades de maior e menor risco a fraturas, bem como a suplementação com vitamina D e experiência de FpE. Apesar disso, houve uma tendência à significância ($p=0,059$) da comparação entre MTC_C e pacientes com experiência de FpE e de DMO.t e uso de vitamina D. Além disso, nenhum dos atletas de baixo risco apresentou FpE. Ressalta-se, ademais, que os dois (6,9%) pacientes que já sofreram FpE enquadravam-se nas modalidades em que o risco de desenvolvimento é maior. Além disso, aproximadamente 7% dos pacientes ($n=2$) apresentaram Z-escore nos dados de DMO.t que, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) consideram-se osteopênicos, ou seja, quando o T-escore for entre -2,5 e -1. (BLAKE; FOGELMAN, 1997).

6 DISCUSSÃO

Este trabalho tratou-se de um estudo pioneiro na avaliação de índices radiográficos não convencionais em atletas, juntamente com avaliação de índices convencionais relativos aos tons de cinza que retratam radiolucidez e radiopacidade, e com os dados de DMO que refletem a saúde óssea sistêmica, principalmente em termos de composição óssea.

Foi possível observar que os tons de cinza na mandíbula têm correlação com a DMO, permitindo a percepção que existe uma relação entre a microarquitetura trabecular na mandíbula com a composição óssea global. Os índices radiográficos não convencionais (DF e Lac) não tiveram relação direta com a DMO. Por outro lado, tiveram com os tons de cinza. Ainda, sobre os índices não convencionais, a DF sendo o mais utilizado, mostrou que existe concordância entre os métodos de processamento, onde ambos podem ser utilizados, no entanto, com algumas vantagens operacionais obviamente ligadas ao método direto com uso de imagens em escala de cinza. Isto evidencia-se pela facilidade operacional, já que evita uma sequência de passos para o seu processamento. Tanto os índices convencionais quanto os não convencionais foram passíveis de serem obtidos em atletas de forma semiautomatizada.

O fato de que os valores de DF.b não apresentaram correlação com a DMO leva à suposição que isto esteja ligado ao fato que este parâmetro represente a microarquitetura, já a DMO tem a ver com mineralização e a quantificação do conteúdo mineral que existe naquele tecido analisado. Por outro lado, a DF.c e a Lac, por mais que representem microarquitetura, também são baseadas nos tons de cinza para seu cálculo e não correlacionaram diretamente com a DMO.

Os valores médios de cinza foram relacionados à DMO porque também refletem composição óssea. Dado que a média dos tons de cinza repercute, no osso, quanto o tecido absorve e entrega radiação X ao sensor, faz sentido que esta correlação seja encontrada. Tecidos mais densos terão, logo, médias de tons de cinza mais altos que tecidos menos densos (BUSHONG, 2020).

Observou-se que os diferentes processos de ossificação foram importantes para revelar que: na mandíbula a DF.c correlacionou-se negativamente com a variação nos tons de cinza, enquanto na falange, a DF.c correlacionou-se positivamente com a média dos tons de cinza, refutando a hipótese de que os ossos

de mesma classificação se comportariam de modo similar (falange e fêmur). Houve correlação da DMO com os tons de cinza, e destes últimos com os índices não convencionais, de uma certa forma, inversa para ossos longos e para a mandíbula. Sabe-se que existe a necessidade da execução da tomada radiográfica de forma padronizada com os mesmos equipamentos, acessórios e exposição dos feixes (SHROUT; HILDEBOLT; POTTER, 1997) para padronizar estes resultados. Assim, refuta-se a possibilidade de que as alterações sejam devidas à execução da técnica, pois a mesma radiografia periapical digital foi realizada para mandíbula e falange.

Como citado anteriormente, a radiografia de falange foi utilizada por hipótese de ser osso longo, de formação embrionária mais próxima ao fêmur, por exemplo, que é um dos ossos avaliados no DXA. Consigo mesma, a radiografia da falange foi consistente ao apresentar correlação positiva entre DF e MTC, inferindo que a DF avalia a ocupação da trabécula na imagem, espera-se que quanto maior a DF, maiores serão os valores de tons brancos que seriam encontrados. Também, a correlação negativa entre DF e Lac, que são grandezas consideradas inversas, por uma considerar o preenchimento da imagem e a outra, as lacunas (ZAIA, 2015). Porém, por tratar-se de um osso em uma região em que a diferença de DF pode ser determinada pela mão dominante (DRAKE *et al.*, 2002), do tipo de atividade ocupacional e de modalidade do atleta, isso pode refletir que seja um índice adequado para monitoramento da qualidade óssea do atleta, mas já que possui demanda mecânica diferente (ABDALA *et al.*, 2022; ALIOGLU *et al.*, 2017), deve-se padronizar melhor qual dedo da mão utilizar e como a aquisição radiográfica seria acessada.

Agora voltando à discussão dos tons de cinza, sobre o coeficiente de correlação entre variáveis dos tons e a qualidade óssea sistêmica, notou-se que foi maior entre os valores de MTC.C e DMO.f ($r=0,53$) que entre os valores de MTC.C e DMO.t ($r=0,44$), ainda que ambos sendo classificados como correlações moderadas. Justifica-se este achado já que o exame de corpo inteiro leva em consideração toda a superfície óssea (cortical e trabecular) e considera, também, ossos com densidades específicas que podem alterar os resultados finais, como a cabeça. Por este motivo, alguns estudos que avaliam DMO em sujeitos fisicamente ativos realizam o exame “*total body less-head*” (TENFORDE *et al.*, 2018), com o intuito de desconsiderar o aumento que a densidade óssea recebe com o escaneamento da cabeça. A DMO.c possui um valor maior do que outras partes do corpo e não está normalmente relacionada com as mudanças dos parâmetros que alteram a DMO do resto do corpo

(GORDON *et al.*, 2008). No entanto, para nosso estudo, considerar a DMO da cabeça era importante, uma vez que o objeto do estudo era o osso mandíbula, parte do esqueleto facial.

Outra hipótese pela qual a correlação entre o exame de fêmur ter sido maior que o exame de corpo inteiro em relação à MTC é a resolução do exame. O nível de exposição para a realização do primeiro exame é maior que o segundo, e é um escaneamento de uma porção óssea específica. Dessa maneira, é possível que se encontrem informações mais acuradas e referentes à mesma porção tecidual, quando se comparam as duas técnicas, por conta da maior especificidade (BANKS *et al.*, 2022).

Discutindo métodos, tão importante quanto o cálculo em si dos índices não convencionais, é também o processamento da imagem para se obter estes dados. Fazer passos sequenciais para binarização e posterior obtenção da representação trabecular em uma estrutura linear demanda tempo e experiência do operador. Neste sentido, a utilização do processamento considerando a imagem diretamente em escala de cinza reduz a possibilidade de problemas durante este processamento. Um dos primeiros trabalhos que atentaram em utilizar a DF calculada por meio da imagem diretamente em escala de cinza, com a possibilidade de agregar a análise da Lac, sem binarização, foi realizado por Rabelo *et al.*, 2018, usando o *plugin* FracLac (KARPERIEN, 2013), baseando-se em uma análise radiográfica em que considerasse o tom de cinza na avaliação da textura na área de interesse, uma vez que a binarização poderia sub ou superestimar a presença de osso na área analisada.

No presente trabalho, os valores de DF.c_C e Df.b.C possuíram correlação de magnitude moderada e as duas técnicas para ambos os ossos obtidos, mandíbula e falange, seguiram um padrão uniforme na concordância de *Bland-Altman*, corroborando com o estudo de Da Silva *et al.*, 2023, portanto, sedimentando então, mais uma vez, a possibilidade de que se use o método de processamento baseado na imagem em escala de cinza para obter os valores de DF, já que não requerem a manipulação da imagem e podem ser obtidos por uma rodagem única no diretório. Dessa maneira, a padronização do método torna-se mais exequível, já que esta é uma discussão encontrada na literatura que aborda o uso da DF (FRANCIOTTI *et al.*, 2021). Ainda, a intenção era utilizar exames complementares de fácil aquisição e maior disponibilidade pelo profissional da odontologia. Dessa maneira, importante identificar a relação da qualidade óssea global com a qualidade óssea mandibular.

Em relação aos dados obtidos com o DXA e as informações relativas à anamnese, aborda-se a literatura que relata as alterações ósseas derivadas de patologias e do trauma mecânico. Para isso, evidencia-se que os estudos avaliam, em sua maioria, pacientes com doenças instaladas, mas não se tem conhecimento do uso desses parâmetros para o mapeamento de risco de fraturas patológicas ou alterações de DMO em um público de atletas. Neste trabalho, os pacientes que já sofreram FpE apresentaram valores de DMO dentro dos padrões de normalidade do Z-Escore (DIMAL, 2017) e, possivelmente, a recuperação da saúde óssea já havia se estabelecido. Outra hipótese é de que, para o estabelecimento do risco da doença, sejam necessários mais do que os dados de DMO (HART *et al.*, 2020). No entanto, a modalidade dos indivíduos que sofreram FpE corroboram com os dados de atletas praticantes das modalidades de maior risco para o estabelecimento destas fraturas (atletismo) (ROGERS *et al.*, 2021).

A correlação moderada entre DMO.t e peso era esperada e já relatada em outros estudos, inclusive quando se avalia o ganho de peso (FLEISCHER *et al.*, 2022; KIM *et al.*, 2017). Isto se explica não apenas pelo aumento da massa do osso em si, mas em consequência de que um aumento de DMO normalmente está atrelado a uma maior massa magra do indivíduo, que tem um caráter importante sobre o peso final do mesmo (LÓPEZ-PERALTA *et al.*, 2022).

A diferença entre as DMO.t e os sexos já é esperada, apesar de nos dados de DMO.f essa diferença não ser significativa. Por este motivo é que são criados os índices de Z e T-escore, que buscam normalizar as diferenças que já são esperadas entre os sexos e a faixa etária (DIMAL, 2017). No entanto, neste estudo foi preconizado o uso dos dados brutos de DMO para efeitos comparativos com as demais variáveis, por se tratar de um grupo homogêneo em relação aos hábitos, à idade e inclusive à DMO.f.

Outro fato que pode ser discutido é a consonância do uso dos parâmetros da OMS para os valores de Z-escore em atletas. Visto que este escore é relativo à média de DMO na população em geral por idade (EL MAGHRAOUI; ROUX, 2008), os pacientes fisicamente ativos que, pela ação do tecido muscular recrutado, deveriam ter uma DMO maior, estão diluídos neste parâmetro. Logo, valores menores de DMO podem ser mais críticos para esta população, devido aos impactos sendo realizados continuamente sobre o osso (JONVIK *et al.*, 2022). Assim, justifica-se o uso dos dados brutos de DMO para as análises estatísticas.

A associação encontrada pelo uso crônico da creatina com menor DMO.t é conflitante com a literatura, já que a função deste suplemento é aumentar a disponibilidade da energia do tecido muscular e apresentar efeitos anticatabólicos (CORDINGLEY; CORNISH; CANDOW, 2022). Isto promoveria tração maior do osso causada pelo músculo em pacientes fisicamente ativos (ANTONIO *et al.*, 2021), apesar de, em meta-análise, não demonstrarem diferença significativa entre os grupos que usam e não usam creatina (FORBES; CHILIBECK; CANDOW, 2018).

Ainda, sobre os atletas, foi importante conduzir um estudo com radiografias periapicais neste grupo, uma vez que apresentar possibilidades de monitoramento e averiguação de índices de qualidade óssea, tornam valorosas as informações cedidas pelo profissional da odontologia. A especialidade da Odontologia do Esporte tem crescido, e a implementação de uma radiografia periapical, como ferramenta auxiliar no *screening* de indivíduos para alterações ósseas, pode ser possível com a obtenção dessa radiografia de mandíbula, na região de caninos, considerando a correlação encontrada entre os tons de cinza e a DMO.

As limitações deste estudo incluem o número de indivíduos participantes desta amostra. Esta limitação foi culminada pela disponibilidade de atletas que dispusessem de tempo para o deslocamento e para a realização de todos os exames coletados. Ademais, o uso do sensor radiográfico possuía limitação de tempo de uso, já que este equipamento foi advindo sob empréstimo de outras fontes, pela indisponibilidade do mesmo na instituição. Este estudo também se trata de uma amostra transversal. Para efeitos de avaliação de risco, poderiam ser avaliadas longitudinalmente as amostras já estudadas para confirmar o uso das MTC_C no acompanhamento da DMO e para eventuais FpE que possam culminar nesta população, se a DMO é, de fato, dominante na determinação do risco.

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que:

As radiografias periapicais digitais de mandíbula e falange podem ser usadas para a avaliação dos parâmetros de qualidade óssea convencionais e não convencionais em atletas, uma vez que os parâmetros analisados são concordantes entre si.

Dentre os parâmetros radiográficos utilizados neste estudo, a média de tons de cinza da região apical de canino inferior mostrou correlação moderada com a densidade mineral óssea dos dois testes realizados.

Os métodos de processamento das imagens (pela binarização e usando a imagem diretamente em escala de cinza) são correlacionados e concordantes entre si para a obtenção da DF. Logo, prefere-se o uso do método das escalas de cinza, já que exime a manipulação da imagem, o que facilita a reprodutibilidade nos estudos e facilita a padronização, além de reduzir o tempo para execução do método.

Os valores de DF, Lac e os parâmetros convencionais na falange distal não apresentaram correlação com parâmetros de corpo, mas apresentaram correlação entre si quando avaliados, denotando uma consistência no padrão de análise por meio dos fractais.

Além disso, a DMO.t esteve correlacionada negativamente com o uso de creatina e positivamente com o peso. A comparação entre modalidades de alto e baixo risco não apresentou correlação com os dados clínicos, do DXA e radiográficos deste estudo.

REFERÊNCIAS

ABDALA, R.; MANA, D.; GONZALES PERNAS, M.; DALTO, J.; SESTA, M.; JERKOVICH, F.; ZANCHETTA, M. B. Exploring the Differences Between Dominant and Nondominant Feet and Hands Bone Mineral Density. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 25, n. 4, p. 587–591, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1094695022000452>>.

ADAMS, J. E. Single and Dual Energy X-Ray Absorptiometry. **Eur Radiol**, v. 7 Suppl 2, p. S20-31, 1997.

ALIOGLU, K.; DOGU, B.; SIRZAI, H.; YILMAZ, F.; KURAN, B. Hand bone mineral density reference values in a Turkish healthy female population. **International Journal of Rheumatic Diseases**, v. 20, n. 12, p. 1965–1972, 1 dez. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/1756-185X.12159>>.

ANTONIO, J.; CANDOW, D. G.; FORBES, S. C.; GUALANO, B.; JAGIM, A. R.; KREIDER, R. B.; RAWSON, E. S.; SMITH-RYAN, A. E.; VANDUSSELDORP, T. A.; WILLOUGHBY, D. S.; ZIEGENFUSS, T. N. Common questions and misconceptions about creatine supplementation: what does the scientific evidence really show? **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 13, 2 jan. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s12970-021-00412-w>>.

ARSENIU, G.; MACFARLANE, D. W. Fractal Dimension of Tree Crowns Explains Species Functional-Trait Responses to Urban Environments at Different Scales. **Ecol Appl**, v. 31, n. 4, p. e02297, 2021. Disponível em: <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/eap.2297?download=true>>.

ASHLEY, P.; DI IORIO, A.; COLE, E.; TANDAY, A.; NEEDLEMAN, I. Oral health of elite athletes and association with performance: a systematic review. **Br J Sports Med**, v. 49, n. 1, p. 14–19, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25388551>>.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; DA COSTA, J. S. CORREÇÃO DE DADOS AGROMETEOROLÓGICOS UTILIZANDO MÉTODOS ESTATÍSTICOS. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 29, p. 515–526, 2014. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:128565842>>.

BANKS, K.; FARRELL, M.; GUNTHER, R.; MCWHORTER, N.; BYERLY, D.; PEACOCK, J. Improving DXA quality by avoiding common technical and diagnostic

pitfalls – Part 1. **Journal of Nuclear Medicine Technology**, p. jnmt.122.264885, 4 out. 2022.

BARRACK, M. T.; GIBBS, J. C.; DE SOUZA, M. J.; WILLIAMS, N. I.; NICHOLS, J. F.; RAUH, M. J.; NATTIV, A. Higher Incidence of Bone Stress Injuries With Increasing Female Athlete Triad–Related Risk Factors: A Prospective Multisite Study of Exercising Girls and Women. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 4, p. 949–958, 24 fev. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0363546513520295>>.

BEAUPIED, H.; LESPESSAILLES, E.; BENHAMOU, C.-L. Evaluation of macrostructural bone biomechanics. **Joint Bone Spine**, v. 74, n. 3, p. 233–239, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1297319X07000814>>.

BLAKE, G. M.; FOGELMAN, I. Interpretation of Bone Densitometry Studies. **Semin Nucl Med**, v. 27, n. 3, p. 248–260, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000129989780027X?via%3Dihub>>.

BURR, D. B. Why bones bend but don't break. **Journal of musculoskeletal & neuronal interactions**, v. 11 4, p. 270–85, 2011.

BUSHONG, S. C. **Principles of Radiographic Imaging: An Art and a Science**. 5th. ed. [s.l.] Mosby, 2020.

BUVINIC, S.; BALANTA-MELO, J.; KUPCZIK, K.; VÁSQUEZ, W.; BEATO, C.; TORO-IBACACHE, V. Muscle-Bone Crosstalk in the Masticatory System: From Biomechanical to Molecular Interactions. **Front Endocrinol (Lausanne)**, v. 11, p. 606947, 2020. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7959242/pdf/fendo-11-606947.pdf>>.

CAMARGO, A.; CORTES, A.; AOKI, E.; BALADI, M.; ARITA, E.; WATANABE, P. Diagnostic performance of fractal dimension and radiomorphometric indices from digital panoramic radiographs for screening low bone mineral density. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 15, p. 131, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/bjos/article/download/8648764/15788>>.

CAMBRAIA FARIA, G.; RAMOS DE FARIA, F.; DE SÁ WERNECK, C.; DAVI RABELO, G.; JOSÉ DA SILVA CAMPOS, M. Dimensão fractal e lacunaridade como parâmetros de avaliação da qualidade óssea na mandíbula de indivíduos saudáveis:

análise por meio da tomografia computadorizada de feixe cônico. **HU Revista**, v. 47, n. 1, p. 1–7, 2021a.

CAMBRAIA FARIA, G.; RAMOS DE FARIA, F.; DE SÁ WERNECK, C.; DAVI RABELO, G.; JOSÉ DA SILVA CAMPOS, M. Dimensão fractal e lacunaridade como parâmetros de avaliação da qualidade óssea na mandíbula de indivíduos saudáveis: análise por meio da tomografia computadorizada de feixe cônico. **HU Revista**, v. 47, p. 1–7, 2021b. Disponível em: <<https://periodicos.ufjf.br/index.php/hurevista/article/view/32583>>.

CIANFEROTTI, L.; BRANDI, M. L. Muscle–bone interactions: basic and clinical aspects. **Endocrine**, v. 45, n. 2, p. 165–177, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12020-013-0026-8>>.

CORDINGLEY, D. M.; CORNISH, S. M.; CANDOW, D. G. Anti-Inflammatory and Anti-Catabolic Effects of Creatine Supplementation: A Brief Review. **Nutrients**, v. 14, n. 3, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-6643/14/3/544>>.

DA SILVA, M. E. B.; DOS SANTOS, H. S.; RUHLAND, L.; RABELO, G. D.; BADARÓ, M. M. Fractal analysis of dental periapical radiographs: A revised image processing method. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology**, v. 135, n. 5, p. 669–677, 1 maio 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.oooo.2022.11.014>>.

DE ASSIS, T.; MIRANDA, J. G.; MOTA, F.; ANDRADE, R.; DE CASTILHO, C. Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, 1 jan. 2008.

DIMAL, H. P. Use of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for diagnosis and fracture risk assessment; WHO-criteria, T- and Z-score, and reference databases. **Bone**, v. 104, p. 39–43, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S8756328216303866>>.

DRAKE, W. M.; BROWN, J. P.; BANVILLE, C.; KENDLER, D. L. Use of Phalangeal Bone Mineral Density and Multi-site Speed of Sound Conduction to Monitor Therapy with Alendronate in Postmenopausal Women. **Osteoporosis International**, v. 13, n. 3, p. 249–256, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s001980200022>>.

EL MAGHRAOUI, A.; ROUX, C. DXA Scanning in Clinical Practice. **Qjm**, v. 101, n. 8, p. 605–617, 2008.

FLEISCHER, S. H.; FREIRE, A. K.; BROWN, K.; CREER, A.; EGGETT, D. L.; FULLMER, S. Association of Short-Term Changes in Menstrual Frequency, Medication Use, Weight and Exercise on Bone Mineral Density in College-Aged Women. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 16, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/19/16/10363>>.

FONSECA, H.; MOREIRA-GONÇALVES, D.; CORIOLANO, H. J.; DUARTE, J. A. Bone Quality: The Determinants of Bone Strength and Fragility. **Sports Med**, v. 44, n. 1, p. 37–53, 2014.

FORBES, S. C.; CHILIBECK, P. D.; CANDOW, D. G. Creatine Supplementation During Resistance Training Does Not Lead to Greater Bone Mineral Density in Older Humans: A Brief Meta-Analysis. **Frontiers in Nutrition**, v. 5, 2018. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2018.00027>>.

FRANCIOTTI, R.; MOHARRAMI, M.; QUARANTA, A.; BIZZOCA, M. E.; PIATTELLI, A.; APRILE, G.; PERROTTI, V. Use of fractal analysis in dental images for osteoporosis detection: a systematic review and meta-analysis. **Osteoporosis International**, v. 32, n. 6, p. 1041–1052, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8128830/pdf/198_2021_Article_5852.pdf>.

FRIEDMAN, A. W. Important Determinants of Bone Strength: Beyond Bone Mineral Density. **JCR: Journal of Clinical Rheumatology**, v. 12, n. 2, p. 70–77, 2006. Disponível em: <https://journals.lww.com/jclinrheum/Fulltext/2006/04000/Important_Determinants_of_Bone_Strength_Beyond.5.aspx>.

GAÊTA-ARAUJO, H.; OLIVEIRA-SANTOS, N.; BRASIL, D. M.; DO NASCIMENTO, E. H. L.; MADLUM, D. V.; HAITER-NETO, F.; OLIVEIRA-SANTOS, C. Effect of Micro-Computed Tomography Reconstruction Protocols on Bone Fractal Dimension Analysis. **Dentomaxillofac Radiol**, v. 48, n. 8, p. 20190235, 2019.

GERAETS, W. G.; VERHEIJ, J. G.; VAN DER STELT, P. F.; HORNER, K.; LINDH, C.; NICOPOULOU-KARAYIANNI, K.; JACOBS, R.; HARRISON, E. J.; ADAMS, J. E.; DEVLIN, H. Prediction of bone mineral density with dental radiographs. **Bone**, v. 40, n. 5, p. 1217–1221, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17317351>>.

GIJBELS, F.; JACOBS, R.; BOGAERTS, R.; DEBAVEYE, D.; VERLINDEN, S.; SANDERINK, G. Dosimetry of Digital Panoramic Imaging. Part I: Patient Exposure. **Dentomaxillofac Radiol**, v. 34, n. 3, p. 145–149, 2005.

GORDON, C. M.; BACHRACH, L. K.; CARPENTER, T. O.; CRABTREE, N.; EL-HAJJ FULEIHAN, G.; KUTILEK, S.; LORENC, R. S.; TOSI, L. L.; WARD, K. A.; WARD, L. M.; KALKWARF, H. J. Dual Energy X-ray Absorptiometry Interpretation and Reporting in Children and Adolescents: The 2007 ISCD Pediatric Official Positions. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 11, n. 1, p. 43–58, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1094695007002533>>.

HART, N. H.; NEWTON, R. U.; TAN, J.; RANTALAINEN, T.; CHIVERS, P.; SIAFARIKAS, A.; NIMPHIUS, S. Biological Basis of Bone Strength: Anatomy, Physiology and Measurement. **J Musculoskelet Neuronal Interact**, v. 20, n. 3, p. 347–371, 2020. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7493450/pdf/JMNI-20-347.pdf>>.

HAYASHI, D.; JARRAYA, M.; ENGBRETSSEN, L.; D CREMA, M.; W ROEMER, F.; SKAF, A.; GUERMAZI, A. Epidemiology of imaging-detected bone stress injuries in athletes participating in the Rio de Janeiro 2016 Summer Olympics. **British Journal of Sports Medicine**, v. 52, n. 7, p. 470, 2018. Disponível em: <<http://bjsm.bmj.com/content/52/7/470.abstract>>.

HERBERT, A. J.; WILLIAMS, A. G.; LOCKEY, S. J.; ERSKINE, R. M.; SALE, C.; HENNIS, P. J.; DAY, S. H.; STEBBINGS, G. K. Bone mineral density in high-level endurance runners: part A—site-specific characteristics. **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 12, p. 3437–3445, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00421-021-04793-3>>.

IRIE, M.; RABELO, G.; SPIN-NETO, R.; DECHICHI, P.; BORGES, J.; SOARES, P. Use of Micro-Computed Tomography for Bone Evaluation in Dentistry. **Brazilian dental journal**, v. 29, p. 227–238, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bdj/a/smrwwkKGKnYqHLGVDMPPvcm/?lang=en&format=pdf>>.

JONVIK, K. L.; TORSTVEIT, M. K.; SUNDGOT-BORGEN, J.; MATHISEN, T. F. Do We Need to Change the Guideline Values for Determining Low Bone Mineral Density in Athletes? **J Appl Physiol (1985)**, v. 132, n. 5, p. 1320–1322, 2022. Disponível em: <<https://journals.physiology.org/doi/pdf/10.1152/jappphysiol.00851.2021>>.

JUNIOR, A. F. de C.; CASTRO, B. K. de; NETO, L. L. da S.; MOTA, N. L.; AARESTRUP, B. J. V. Embriologia e histofisiologia do tecido ósseo: revisão de literatura e bases histofisiológicas das principais doenças ósseas metabólicas: [revisão]. **Bol. Centro Biol. Reprod**, v. 27, n. 1/2, p. 32–27, 2008. Disponível em: <<http://www.epistemonikos.org/documents/eb8fefe4b39c18787f66790bab0661b9616984d0>>.

KATO, C. N. A. O.; BARRA, S. G.; TAVARES, N. P. K.; AMARAL, T. M. P.; BRASILEIRO, C. B.; MESQUITA, R. A.; ABREU, L. G. Use of fractal analysis in dental images: A systematic review. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 49, n. 2, 2020.

KIM, Y.-S.; HAN, J.-J.; LEE, J.; CHOI, H. S.; KIM, J. H.; LEE, T. The correlation between bone mineral density/trabecular bone score and body mass index, height, and weight. **Osteoporosis and Sarcopenia**, v. 3, n. 2, p. 98–103, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405525516300899>>.

KNUDSON, D. Mechanics of the Musculoskeletal System. *Em*: KNUDSON, D. **Fundamentals of Biomechanics**. Boston, MA: Springer US, 2003. p. 69–102.

KOVÁCS, B.; VARGA, D.; SEBOK, D.; MAJOROS, H.; POLANEK, R.; PANKOTAI, T.; HIDEGHETY, K.; KUKOVECZ, A.; ERDELYI, M. Application of Lacunarity for Quantification of Single Molecule Localization Microscopy Images. **Cells**, v. 11, p. 3105, 2 out. 2022.

LARSSON, D.; EKSTRAND, J.; KARLSSON, M. K. Fracture epidemiology in male elite football players from 2001 to 2013: ‘How long will this fracture keep me out?’ **British Journal of Sports Medicine**, v. 50, n. 12, p. 759, 1 jun. 2016. Disponível em: <<http://bjsm.bmj.com/content/50/12/759.abstract>>.

LICATA, A. Bone density vs bone quality: What’s a clinician to do? **Cleveland Clinic Journal of Medicine**, v. 76, n. 6, p. 331, 1 jun. 2009. Disponível em: <<http://www.ccjm.org/content/76/6/331.abstract>>.

LÓPEZ-PERALTA, S.; ROMERO-VELARDE, E.; VÁSQUEZ-GARIBAY, E. M.; GONZÁLEZ-HITA, M.; ROBLES-ROBLES, L. C.; RUIZ-GONZÁLEZ, F. J.; PÉREZ-ROMERO, M. A. Bone mineral density and body composition in normal weight, overweight and obese children. **BMC Pediatrics**, v. 22, n. 1, p. 249, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s12887-022-03317-y>>.

LUPSA, B. C.; INSOGNA, K. Bone Health and Osteoporosis. **Endocrinology and Metabolism Clinics**, v. 44, n. 3, p. 517–530, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecl.2015.05.002>>.

MACINTYRE, N. J.; LORBERGS, A. L. Imaging-Based Methods for Non-invasive Assessment of Bone Properties Influenced by Mechanical Loading. **Physiotherapy Canada**, v. 64, n. 2, p. 202–215, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.3138/ptc.2011-08bh>>.

MISHRA, S.; KUMAR, M.; MISHRA, L.; MOHANTY, R.; NAYAK, R.; DAS, A. C.; MISHRA, S.; PANDA, S.; LAPINSKA, B. Fractal Dimension as a Tool for Assessment of Dental Implant Stability—A Scoping Review. **Journal of Clinical Medicine**, v. 11, n. 14, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2077-0383/11/14/4051>>.

NAYAK, S. R.; MISHRA, J.; JENA, P. M. Fractal Dimension of GrayScale Images. (P. K. Pattnaik, S. S. Rautaray, H. Das, J. Nayak) Em: Progress in Computing, Analytics and Networking, 2018, Singapore. [...]. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 225–234.

NORDIN, M.; FRANKEL, V. **Basic biomechanics of the musculoskeletal system**. 4th. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2012. v. 1

OFTADEH, R.; PEREZ-VILORIA, M.; VILLA-CAMACHO, J. C.; VAZIRI, A.; NAZARIAN, A. Biomechanics and Mechanobiology of Trabecular Bone: A Review. **J Biomech Eng**, v. 137, n. 1, p. 108021–1080215, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5101038/pdf/bio-14-1365_010802.pdf>.

OKABE, S.; MORIMOTO, Y.; ANSAI, T.; YOSHIOKA, I.; TANAKA, T.; TAGUCHI, A.; KITO, S.; WAKASUGI-SATO, N.; ODA, M.; KUROIWA, H.; OHBA, T.; AWANO, S.; TAKATA, Y.; TAKEHARA, T. Assessment of the relationship between the mandibular cortex on panoramic radiographs and the risk of bone fracture and vascular disease in 80-year-olds. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 106, n. 3, p. 433–442, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1079210407007561>>.

PALANIVEL, D. A.; NATARAJAN, S.; GOPALAKRISHNAN, S.; JENNANE, R. Multifractal-based lacunarity analysis of trabecular bone in radiography. **Computers in Biology and Medicine**, v. 116, p. 103559, 2020a. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482519304147>>.

PALANIVEL, D. A.; NATARAJAN, S.; GOPALAKRISHNAN, S.; JENNANE, R. Multifractal-Based Lacunarity Analysis of Trabecular Bone in Radiography. **Comput Biol Med**, v. 116, p. 103559, 2020b. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482519304147?via%3Dihub>>.

PIETKA, E. 48 - Image Standardization in PACS. *Em*: BANKMAN, I. N. **Handbook of Medical Imaging**. San Diego: Academic Press, 2000. p. 783–801.

PLOTNICK, R.; GARDNER, R.; HARGROVE, W.; PRESTEGAARD, K.; PERLMUTTER, M. Lacunarity analysis: A general technique for the analysis of spatial patterns. **Physical review. E, Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics**, v. 53, p. 5461–5468, 1 jun. 1996.

POPOVIC, N.; RADUNOVIC, M.; BADNJAR, J.; POPOVIC, T. Fractal Dimension and Lacunarity Analysis of Retinal Microvascular Morphology in Hypertension and Diabetes. **Microvasc Res**, v. 118, p. 36–43, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026286218300104?via%3Dihub>>.

POTHUAUD, L.; PORION, P.; LESPESSAILLES, E.; BENHAMOU, C. L.; LEVITZ, P. A New Method for Three-Dimensional Skeleton Graph Analysis of Porous Media: Application to Trabecular Bone Microarchitecture. **J Microsc**, v. 199, n. Pt 2, p. 149–161, 2000. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1046/j.1365-2818.2000.00725.x?download=true>>.

RABELO, G. D.; ROUX, J. P.; PORTERO-MUZY, N.; GINEYTS, E.; CHAPURLAT, R.; CHAVASSIEUX, P. Cortical Fractal Analysis and Collagen Crosslinks Content in Femoral Neck After Osteoporotic Fracture in Postmenopausal Women: Comparison with Osteoarthritis. **Calcif Tissue Int**, v. 102, n. 6, p. 644–650, 2018a. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00223-017-0378-9.pdf>>.

RABELO, G. D.; ROUX, J.-P.; PORTERO-MUZY, N.; GINEYTS, E.; CHAPURLAT, R.; CHAVASSIEUX, P. Cortical Fractal Analysis and Collagen Crosslinks Content in Femoral Neck After Osteoporotic Fracture in Postmenopausal Women: Comparison with Osteoarthritis. **Calcified Tissue International**, v. 102, n. 6, p. 644–650, 2018b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00223-017-0378-9>>.

RHO, J.-Y.; KUHN-SPEARING, L.; ZIOUPOS, P. Mechanical properties and the hierarchical structure of bone. **Medical Engineering & Physics**, v. 20, n. 2, p. 92–102, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453398000071>>.

RITCHIE, R. O.; BUEHLER, M. J.; HANSMA, P. Plasticity and toughness in bone. **Physics Today**, v. 62, n. 6, p. 41–47, 1 jun. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1063/1.3156332>>.

ROGERS, M. A.; APPANEAL, R. N.; HUGHES, D.; VLAHOVICH, N.; WADDINGTON, G.; BURKE, L. M.; DREW, M. Prevalence of impaired physiological function consistent with Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): an Australian elite and pre-elite cohort. **British Journal of Sports Medicine**, v. 55, n. 1, p. 38, 2021. Disponível em: <<http://bjsm.bmj.com/content/55/1/38.abstract>>.

SÁNCHEZ, I.; UZCÁTEGUI, G. Fractals in Dentistry. **J Dent**, v. 39, n. 4, p. 273–292, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571211000303?via%3Dihub>>.

SENER, E.; CINARCIK, S.; BAKSI, B. G. Use of Fractal Analysis for the Discrimination of Trabecular Changes Between Individuals With Healthy Gingiva or Moderate Periodontitis. **Journal of Periodontology**, v. 86, n. 12, p. 1364–1369, 1 dez. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1902/jop.2015.150004>>.

SHEPHERD, J. A.; NG, B. K.; SOMMER, M. J.; HEYMSFIELD, S. B. Body Composition by DXA. **Bone**, v. 104, p. 101–105, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5659281/pdf/nihms887637.pdf>>.

SHROUT, M.; HILDEBOLT, C.; POTTER, B. The effect of varying the region of interest on calculations of fractal index. **Dento maxillo facial radiology**, v. 26, p. 295–298, 1 set. 1997.

SHROUT, M.; POTTER, B.; HILDEBOLT, C. The effect of image variation on fractal dimension calculations. **Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics**, v. 84, p. 96–100, 1 ago. 1997.

SOLTANI, P.; SAMI, S.; YAGHINI, J.; GOLKAR, E.; RICCITIELLO, F.; SPAGNUOLO, G. Application of Fractal Analysis in Detecting Trabecular Bone Changes in Periapical Radiograph of Patients with Periodontitis. **International Journal of Dentistry**, v. 2021, p. 3221448, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2021/3221448>>.

TENFORDE, A. S.; PARZIALE, A. L.; POPP, K. L.; ACKERMAN, K. E. Low Bone Mineral Density in Male Athletes Is Associated With Bone Stress Injuries at Anatomic Sites With Greater Trabecular Composition. **Am J Sports Med**, v. 46, n. 1, p. 30–36, 2018.

TRIANATAYLLOPOULOS, G.; MITSEA, A.; RONTOGIANNI, A.; KORRES, D. Osteoporosis Screening Using Dental Panoramic Radiographs and Age at Menarche. **Diagnostics**, v. 13, n. 5, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-4418/13/5/881>>.

VARLEY, T. F.; CARHART-HARRIS, R.; ROSEMAN, L.; MENON, D. K.; STAMATAKIS, E. A. Serotonergic Psychedelics LSD & Psilocybin Increase the Fractal Dimension of Cortical Brain Activity in Spatial and Temporal Domains. **Neuroimage**, v. 220, p. 117049, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811920305358?via%3Dihub>>.

VASHISHTH, D.; BEHIRI, J. C.; BONFIELD, W. Crack growth resistance in cortical bone: Concept of microcrack toughening. **Journal of Biomechanics**, v. 30, n. 8, p. 763–769, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021929097000298>>.

WARDEN, S. J.; BURR, D. B.; BRUKNER, P. D. Stress fractures: Pathophysiology, epidemiology, and risk factors. **Current Osteoporosis Reports**, v. 4, n. 3, p. 103–109, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11914-996-0029-y>>.

WHITE, S. C.; PHAROAH, M. J. **Oral Radiology: Principles and Interpretation**. 7th. ed. [s.l.] Mosby, 2014.

WHITE, S. C.; RUDOLPH, D. J. Alterations of the Trabecular Pattern of the Jaws in Patients with Osteoporosis. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 88, n. 5, p. 628–635, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1079210499700971?via%3Dihub>>.

ZAIA, A. Fractal lacunarity of trabecular bone and magnetic resonance imaging: New perspectives for osteoporotic fracture risk assessment. **World journal of orthopedics**, v. 6, p. 221–235, 18 mar. 2015.

ZHAI, X.; GUO, Z.; GAO, J.; KEDIR, N.; NIE, Y.; CLAUS, B.; SUN, T.; XIAO, X.; FEZZAA, K.; CHEN, W. W. High-Speed X-Ray Visualization of Dynamic Crack Initiation and Propagation in Bone. **Acta biomaterialia**, v. 90, p. 278–286, 2019.

APÊNDICE A – FICHA CLÍNICA DO PACIENTE

Nome: _____ Código: _____

Data de nascimento: ____/____/____ Sexo: () F () M

Telefone: _____

E-mail: _____

Esporte(s) que pratica:

Carga horária semanal de treino (h/semana por modalidade):

Peso: _____ Altura: _____

Esta fazendo uso de alguma medicação ou método anticoncepcional? () Sim () Não

Se a resposta for sim, qual(is):

Há quanto tempo? _____

Menstruação normal: () Sim () Não Obs.: _____

Já teve ou tem alguma das seguintes doenças? () Cardíacos () Renais () Gástricos
() Articulares ou reumatismo

Reposição vitamínica: _____

Uso de Creatina: _____ Qtdade: _____

() Diabetes () Tireóide () Outras _____

Já teve algum episódio de fratura óssea por estresse? Sim () Não ()

Avaliação Estomatológica:

Presença de:

Tórus mandibular: Sim () Não () () Unilateral () Bilateral

Linha alba marcada: Sim () Não () () Unilateral () Bilateral

Língua Crenada: Sim () Não () () Unilateral () Bilateral

Edentulismo na área de interesse: Sim () Não ()

Desgaste : () Oclusal () Incisal () Cervical () Não evidente.

Relata apertamento dental: Sim () Não ()

Outras lesões na área de interesse: Sim () Não ()

● Tecido mole: _____

● Tecido duro: _____

APÊNDICE B – CÓDIGO DA MACRO PARA OBTENÇÃO DA DIMENSÃO FRACTAL PELO MÉTODO BINARIZADO

```
setOption("ScaleConversions", true);  
run("8-bit");  
roiManager("Add");  
roiManager("Measure");  
run("Duplicate...", "title=original");  
run("Histogram");  
selectWindow("original");  
run("Duplicate...", "title=teste");  
run("Gaussian Blur...", "sigma=35");  
imageCalculator("Subtract create", "teste", "original");  
selectWindow("Result of teste");  
run("Add...", "value=128");  
setOption("BlackBackground", false);  
run("Convert to Mask");  
run("Erode");  
run("Dilate");  
run("Remove Outliers...", "radius=2 threshold=50 which=Dark");  
run("Invert");  
run("Skeletonize");  
run("Fractal Box Count...", "box=2,3,4,6,8,12,16,32,64");
```

ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Dimensão fractal na mandíbula e outros marcadores de qualidade óssea em atletas: correlação com densidade mineral óssea

Pesquisador: Gustavo Davi Rabelo

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 64697622.6.0000.0121

Instituição Proponente: Departamento de Odontologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.833.391

Apresentação do Projeto:

As informações que seguem e as elencadas nos campos "Objetivo da pesquisa" e "Avaliação dos riscos e benefícios" foram retiradas do arquivo PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_PROJETO_2027889.pdf, de 01/12/2022, preenchido pelos pesquisadores.

Segundo os pesquisadores:

RESUMO

"Os exames radiográficos odontológicos podem ser importantes no acompanhamento da saúde óssea do atleta, que faz parte da tarefa da equipe de saúde e da sua longevidade na carreira. Logo, o objetivo deste estudo é avaliar a correlação e associação entre parâmetros de qualidade óssea em imagens radiográficas periapicais de mandíbula e falange distal com a densidade mineral óssea em atletas. Atletas de modalidades com e sem impacto serão submetidos a uma anamnese, um exame físico odontológico para coleta de informações sobre treinamento, saúde do paciente e alterações estomatológicas. Radiografias periapicais de falange distal e de caninos e pré-molares serão capturadas para a análise da dimensão fractal (DF), lacunaridade e histograma. Além, será feito o exame de absorciometria por dupla emissão de raios-x (DXA), onde coletará-se informações de densidade mineral óssea (DMO) da coluna lombar e do fêmur proximal. Testes de correlação serão feitos entre a DMO, os valores de DF e lacunaridade das radiografias. Além, será

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701

Bairro: Trindade

CEP: 88.040-400

UF: SC

Município: FLORIANÓPOLIS

Telefone: (48)3721-6094

E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC**



Continuação do Parecer: 5.833.391

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2027889.pdf	01/12/2022 16:44:38		Aceito
Outros	Ficha.pdf	01/12/2022 16:44:18	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Testes_novo.pdf	01/12/2022 16:44:01	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Atlas_1.pdf	30/11/2022 13:59:29	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	RESPOSTA_AS_PENDENCIAS_assinado.pdf	30/11/2022 13:56:14	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_assinado.pdf	30/11/2022 13:54:06	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_Pesquisadores_assinado.pdf	31/10/2022 13:14:41	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao_nutricao_assinado.pdf	28/10/2022 06:19:24	HELENA PICKLER FRONZA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_CCS_assinado.pdf	18/10/2022 20:03:08	Gustavo Davi Rabelo	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Clinicas_assinada.pdf	04/10/2022 13:10:56	Gustavo Davi Rabelo	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FLORIANOPOLIS, 21 de Dezembro de 2022

Assinado por:
Nelson Canzian da Silva
(Coordenador(a))

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa: Dimensão fractal na mandíbula e outros marcadores de qualidade óssea em atletas: correlação com densidade mineral óssea.

Justificativa: A redução da densidade mineral óssea (DMO) pode acontecer em atletas de alta carga de treinamento, principalmente em modalidades de resistência e de modalidades que exigem baixo peso. Isso pode representar um risco aumentado a fraturas durante a prática esportiva. No entanto, o exame de absorciometria de dupla energia (DXA), que realiza o diagnóstico da DMO, é de alto custo. Por este motivo, este estudo busca investigar se, para avaliar a DMO do atleta, o uso da dimensão fractal nas radiografias odontológicas é plausível, já que emite menor dose de radiação e é realizado rotineiramente na odontologia. **Procedimento:** Caso você concorde em participar, iremos realizar as seguintes atividades com você: Iremos realizar uma anamnese (questionário), o exame da composição corporal com o DXA, tomadas radiográficas (radiografias periapicais) e um exame da sua boca. O DXA é um exame que fornecerá a você um panorama geral da sua saúde óssea e também da sua composição corporal. As radiografias periapicais serão utilizadas para fim de comparação com os resultados do exame do DXA, bem como a anamnese.

Desconforto ou riscos: O exame radiográfico será feito para realização da pesquisa, mas poderemos ceder suas imagens e estas tomadas fazerem parte de um acompanhamento odontológico. A radiografia apresenta o benefício que propõe avaliar um segmento da sua saúde bucal e manter seu acompanhamento e terapêutica necessária, bem como o exame de DXA, que lhe trará informações importantes a respeito da sua saúde óssea. Esses exames serão realizados para a execução da pesquisa. Ambos requerem radiação ionizante na sua realização, o que denomina um risco ao participar desta pesquisa. Porém, enfatiza-se que estes exames emitem doses baixas de radiação em comparação com outros exames em geral (tomografias, por exemplo). Pode ocorrer possibilidade de quebra de sigilo de identificação, que será evitada ao máximo, pois iremos identificá-lo utilizando códigos, ao invés dos dados pessoais como seu nome. Os exames que apresentarem alterações odontológicas serão devidamente orientados ao atendimento odontológico prestado pelo Projeto de Odontologia do Esporte (PODEum) na UFSC, nos quais participantes da pesquisa fazem parte. Ademais, os exames de DXA que expuserem

alterações serão orientados à procura de um serviço médico de Ortopedia e/ou Endocrinologia e Metabologia.

Benefícios: estudo ajudará a obter informações e conhecimentos futuros que auxiliarão em um entendimento mais aprofundado sobre a avaliação da sua qualidade óssea. O (a) Sr. (a), não terá nenhum benefício imediato com a participação no estudo.

Ficha de coleta e privacidade: Os dados referentes à sua identificação (nome, telefone e número do prontuário) e saúde (história médica pregressa) serão anotados em uma ficha de coleta que ficará sob responsabilidade do pesquisador responsável, com a garantia de que haverá sigilo quanto a sua identidade. Os resultados obtidos ficarão sob a responsabilidade dos pesquisadores envolvidos no projeto, e serão utilizados como dados de pesquisa científica, podendo vir a serem divulgados em artigos e/ou congressos, resguardando-se sempre o sigilo quanto à sua identificação. No entanto, o Sr(a) poderá ter acesso aos resultados provenientes das análises, caso seja do seu interesse. Os dados a 1 de 3 serem coletados estão expressos abaixo:

Nome: _____ Código: _____
 Data de nascimento: ____/____/____ Sexo: () F () M Telefone: _____
 E-mail: _____ Esporte(s) _____ que _____ pratica: _____

Carga horária semanal de treino (h/semana por modalidade): _____

Peso: _____ Altura: _____

Esta fazendo uso de alguma medicação ou método anticoncepcional? () Sim () Não - Se a resposta for sim, qual(is): _____

Há quanto tempo? _____ Menstruação normal: () Sim () Não Obs.: _____

Já teve ou tem alguma das seguintes doenças? () Cardíacos () Renais () Gástricos () Articulares ou reumatismo () Diabetes () Tireóide () Outras _____

Já teve algum episódio de fratura óssea por estresse? Sim () Não () Avaliação Estomatológica: Presença de:

Tórus mandibular: Sim () Não () Linha alba marcada: Sim () Não () Língua Crenada: Sim () Não ()

Edentulismo na área de interesse: Sim () Não () Faceta de desgaste oclusal: Sim () Não () Faceta de

desgaste incisal: Sim () Não () Outras lesões na área de interesse:

• Tecido mole: _____ • Tecido duro: _____

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você.

Os pesquisadores tratarão a sua identidade atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos. Cabe ressaltar que os dados coletados serão utilizados exclusivamente para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Dúvidas: Qualquer dúvida, não receie em perguntar quantas vezes necessário, e o (a) Sr(a) será esclarecido em qualquer momento da pesquisa.

Retirada do Consentimento: Caso não deseje participar dessa pesquisa ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, poderá fazê-lo em qualquer momento sem qualquer prejuízo ou punição.

Despesas: A participação nesta pesquisa poderá gerar despesas em relação ao seu deslocamento e alimentação. Possíveis gastos poderão ser ressarcidos, incluindo àqueles de transporte e alimentação no dia da coleta de dados.

Resultado: Caso o Sr(a) tenha interesse em saber o resultado, entre em contato com os pesquisadores nos telefones abaixo, caso esse questionamento seja presencial, o pesquisador entrará em contato com o Sr(a) por telefone ou email para lhe divulgar o resultado. Para participar deste estudo você não receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se você tiver algum dano por causa das atividades que fizermos com você nesta pesquisa, você tem direito a indenização.

Eu, _____, abaixo assinado, declaro que consinto participar no trabalho intitulado “Dimensão fractal na mandíbula e outros marcadores de qualidade óssea em atletas: correlação com densidade mineral óssea” e declaro que fui satisfatoriamente esclarecido e que estou livre para, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa sem que isso implique em prejuízo ao meu tratamento e que não preciso apresentar justificativas para isso. Sei também de todas as informações por mim fornecidas e os resultados obtidos na pesquisa só serão utilizados para divulgação científica em reuniões e revistas científicas. Serei informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato desses poderem mudar meu consentimento em participar da pesquisa. Concordo também em responder às questões contidas no formulário que me foi apresentado (ficha de coleta de dados). E autorizo os pesquisadores (Gustavo Davi Rabelo, Mabel Mariela Rodriguez Cordeiro, Helena Pickler Fronza e João Vitor da Silva Amorim) do projeto de pesquisa intitulado “Dimensão fractal na mandíbula e outros marcadores de qualidade óssea em atletas: correlação com densidade mineral óssea” a realizar os exames que serão necessárias sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes. Ao mesmo tempo, autorizo a utilização destes resultados (suas respectivas cópias) somente para fins científicos e de estudos (livros, artigos e slides), em favor desta pesquisa, porém não devo ser identificado por nome ou qualquer outra forma. Qualquer dúvida contatará um dos pesquisadores envolvidos na pesquisa Gustavo Davi Rabelo pelo telefone (048) 3721-

9520 ou (34) 99335-0844 e e-mail drgustavorabelo@yahoo.com.br, e Helena Pickler Fronza, telefone (47) 99101-2185 e e-mail helenapickler@gmail.com, para questões relacionadas à pesquisa. O pesquisador Gustavo Davi Rabelo poderá ser encontrado na Sala de Professores da Estomatologia, Bloco D, Sala D210 no Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, na rua Delfino Conti, sem número, Bairro Trindade, Florianópolis/SC. Em caso de queixas e/ou dúvidas sobre o andamento ético da pesquisa e informações/esclarecimentos, por favor, entre em contato o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH-UFSC), situado no Prédio Reitoria II, 7º andar, sala 701, localizado na Rua Desembargador Vitor Lima, nº 222, Trindade, Florianópolis - Telefone para contato: 3721-6094. O CEPSH é um órgão colegiado interdisciplinar, deliberativo, consultivo e educativo, vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina, mas independente na tomada de decisões, criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Assim, li e concordo em participar da pesquisa em questão.

Assinatura do participante:

Eu, pesquisador responsável pela pesquisa, confirmo que irei cumprir todas as normas e orientações da Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Assinatura do pesquisador responsável:

Florianópolis, ____ de _____ de _____