



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ruben Tiago Ferraz Martins Maranhó

**ANÁLISE DE MORFOMETRIA GEOMÉTRICA
DO DIMORFISMO SEXUAL DA ESCÁPULA
NA POPULAÇÃO PORTUGUESA**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Antropologia Forense orientada pelo Professor Doutor Francisco Curate e pela Professora Doutora Maria Teresa Ferreira e apresentada ao Departamento de Ciências da Vida da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Novembro de 2021

O autor escreve segundo o antigo acordo ortográfico.

Agradecimentos

Começo por agradecer ao Prof. Doutor Francisco Curate, primeiro pela sugestão do tema e pela confiança que depositou em mim. Foi um grande desafio. Por toda ajuda que meu deu ao longo deste projecto, desde o primeiro contacto com esta metodologia, que era nova para mim. Por toda a sua disponibilidade, organizando reuniões presenciais ou por videoconferência. Por todas as trocas de ideias e de conhecimento, desde o funcionamento da técnica à utilização dos programas, esclarecimento de dúvidas, sugestões e orientação em todas as etapas desta dissertação.

Quero também agradecer à Prof.^a Doutora Maria Teresa Ferreira, primeiro pela ajuda dada no início do meu percurso no Mestrado de Antropologia Forense, num período que considero de adaptação após a minha mudança de área. Em segundo por ter confiado em mim, sugerindo este tema de dissertação, que me lançou para fora da minha zona de conforto e ainda por toda a disponibilidade que demonstrou no meu período de recolha de dados no Laboratório de Antropologia Forense. Por último quero agradecer as suas sugestões e orientação na escrita deste trabalho.

Gostaria ainda de agradecer à Prof.^a Doutora Sofia Wasterlain por me conceder acesso à CEIUC.

Aos meus pais, Alda e António, e à minha avó pelo amor, apoio incondicional, pelo acreditar e por toda a ajuda ao longo de todo o meu percurso académico e da minha vida.

À Elodie, por teres sempre acreditado em mim, pelo teu apoio, pela tua ajuda e por todos os teus conselhos para a realização desta dissertação e na minha vida. Por me puxares para cima quando estava em baixo, por estares sempre ao meu lado mesmo à distância, pelo teu carinho, pela tua amizade e pelo teu amor. Amo-te.

Índice

Agradecimentos	ii
Índice de figuras	i
Índice de tabelas	iv
Lista de abreviaturas	vi
Resumo	vii
Abstract	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Diagnose e dimorfismo sexual	1
1.2. Descrição da escápula	2
1.3. Métodos métricos e métodos morfológicos	4
1.4. Métodos de morfometria geométrica	5
1.5. Objectivos	7
2. Material e Métodos	8
2.1. Material	8
2.1.1. A Coleção de Esqueletos Identificados Século XXI	9
2.1.2. A Coleção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra.....	9
2.2. Métodos.....	10
2.2.1. Recolha de dados.....	10
2.2.2. Pontos Anatómicos e <i>Semilandmarks</i>	11
2.2.3. Superimposição de PROCRUSTES.....	16
2.3. Métodos estatísticos	18
2.3.1. Análise de Componentes Principais (PCA).....	18
2.3.2. <i>Canonical Variates Analysis (CVA)</i>	18
2.3.3. Análise Discriminante.....	19
2.3.4. Procrustes ANOVA.....	19
2.3.5. Regressão linear	19
2.4. Visualização de diferenças: <i>Thin-plate Spline</i>	20
2.5. Erros observacionais.....	21
2.5.1. Erro intraobservador	21
3. Resultados.....	22

3.1. Erro Intraobservador	22
3.2. Análise de dimorfismo sexual através de Pontos Anatômicos	23
3.2.1. Colecção de Esqueletos Identificados Século XXI	23
3.2.2. Colecção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra	32
3.2.3. Amostra Completa	37
3.3. Comparação entre Colecções através de Pontos anatómicos	45
3.3.1. Sexo Feminino	45
3.3.2. Sexo masculino	50
3.4. Análise de dimorfismo sexual através de <i>Semilandmarks</i>	56
3.4.1. Colecção de Esqueletos Identificados Século XXI	56
3.4.2. Colecção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra	65
3.4.3. Amostra completa	71
3.5. Comparação entre Colecções através de <i>Semilandmarks</i>	79
3.5.1. Sexo feminino	79
3.5.2. Sexo masculino	85
4. Discussão	91
5. Conclusão	98
6. Referências bibliográficas	100

Índice de figuras

Figura 1 - Comparação de duas escápulas de indivíduos de sexos diferentes	3
Figura 2 - Tipos de pontos anatómicos e de semilandmarks	6
Figura 3 - Exemplificação de um espécime bem preservado	10
Figura 4 - Descrição dos pontos anatómicos na escápula	12
Figura 5 - Ilustração do contorno da escápula com semilandmarks	13
Figura 6 - Representação da superimposição de Procrustes	17
Figura 7 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos da CEI/XXI	24
Figura 8 - Exemplo de consenso dos pontos anatómicos	25
Figura 9 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC	26
Figura 10 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs	26
Figura 11 - Representação da variação da forma dos PCs	28
Figura 12 - Histograma com a frequência de indivíduos por sexo	29
Figura 13 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes	31
Figura 14 - Superimposição de Procrustes para os indivíduos da CEIUC	33
Figura 15 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC	34
Figura 16 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs	34
Figura 17 - Representação da variação da forma dos PCs	35
Figura 18 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes	36
Figura 19 – Superimposição de Procrustes para os indivíduos das duas colecções	38
Figura 20 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC	39
Figura 21 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs	39
Figura 22 - Representação da variação da forma dos PCs	41
Figura 23 - Histograma com a frequência de indivíduos por sexo	42
Figura 24 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes	44
Figura 25 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos femininos	46
Figura 26 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC	47
Figura 27 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs	47
Figura 28 - Representação da variação da forma dos PCs	48

Figura 29 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	49
Figura 30 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos masculinos.....	51
Figura 31 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC.....	52
Figura 32 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs.....	52
Figura 33 - Representação da variação da forma dos PCs.....	54
Figura 34 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	55
Figura 35 - Exemplo de consenso dos pontos anatômicos.....	57
Figura 36 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos da CEI/XXI.....	58
Figura 37 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC.....	59
Figura 38 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs.....	59
Figura 39 - Representação da variação de forma dos PCs.....	61
Figura 40 - Histograma com a frequência de indivíduos por sexo.....	62
Figura 41 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	64
Figura 42 - Superimposição de Procrustes para os indivíduos da CEIUC.....	66
Figura 43 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC.....	67
Figura 44 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs.....	67
Figura 45 - Representação da variação da forma dos PCs.....	69
Figura 46 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	70
Figura 47 - Superimposição de Procrustes de todos os indivíduos.....	72
Figura 48 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC.....	73
Figura 49 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs.....	73
Figura 50 - Representação da variação de forma dos PCs.....	75
Figura 51 - Histograma com a frequência de indivíduos por sexo.....	76
Figura 52 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	78
Figura 53 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos femininos.....	80
Figura 54 - <i>Scree plot</i> com a variação de cada PC.....	81
Figura 55 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs.....	81
Figura 56 - Representação da variação de forma dos PCs.....	83
Figura 57 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	84

Figura 58 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos masculinos.....	86
Figura 59 - Scree plot com a variação de cada PC.....	87
Figura 60 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs.....	87
Figura 61 - Representação da variação de forma dos PCs.....	89
Figura 62 - Regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes.....	90

Índice de tabelas

Tabela 1 - Distribuição etária, segundo a colecção osteológica, e respectivo número de indivíduos.	8
Tabela 2 - Resultado da Procrustes ANOVA para o erro intraobservador aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	22
Tabela 3 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	23
Tabela 4 - Classificação dos indivíduos da CEI/XXI por grupo, resultante da análise discriminante.	30
Tabela 5 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEI/XXI.	31
Tabela 6 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEIUC, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	32
Tabela 7 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEIUC.	36
Tabela 8 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos dos indivíduos da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	37
Tabela 9 - Classificação dos indivíduos por grupo, resultante da análise discriminante.	43
Tabela 10 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos da amostra.	43
Tabela 11 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo feminino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	45
Tabela 12 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos do sexo feminino da CEIUC e CEI/XXI.	49
Tabela 13 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo masculino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	50
Tabela 14 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos do sexo masculino da CEIUC e CEI/XXI.	55
Tabela 15 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	56
Tabela 16 - Classificação dos indivíduos da CEI/XXI por grupo, resultante da análise discriminante.	63
Tabela 17 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEI/XXI.	63
Tabela 18 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.	65
Tabela 19 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEIUC.	70

Tabela 20 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.....	71
Tabela 21 - Classificação dos indivíduos por grupo, resultante da análise discriminante.	77
Tabela 22 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos da amostra.....	77
Tabela 23 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo feminino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.....	79
Tabela 24 - Resultado da regressão linear para os indivíduos do sexo feminino da CEI/XXI e da CEIUC.....	84
Tabela 25 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo masculino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.....	85
Tabela 26 - Resultado da regressão linear para os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI e CEIUC.....	90

Lista de abreviaturas

ANOVA - Análise de Variância

CEI/XXI - Coleccção de Esqueletos Identificados Século XXI

CEIUC - Coleccção de Esqueletos Indentificados da Universidade de Coimbra

CV - *Canonical Variate*

CVA - *Canonical Variates Analysis*

MANOVA - *Multivariate Analysis of Variance*

PA - Pontos Anatómicos

PCA - Análise de Componentes Principais

PC(s) - Componente(s) Principal(is)

TPS - *Thin-Plate Spline*

Resumo

A diagnose sexual serve de fonte de informação primária em análises de restos esqueléticos em contextos arqueológicos e forenses. Outros parâmetros do perfil biológico são dependentes da sua análise (como a idade à morte e a estatura). Os métodos mais utilizados para estimativa do sexo são métodos morfológicos e métricos. Em muitos casos forenses os restos esqueléticos apresentam-se incompletos e fragmentados, o que dificulta a avaliação do sexo a partir dos ossos sexualmente mais dimórficos. Como alternativa têm sido estudados diversos ossos para esse fim. No caso deste trabalho utilizaremos a escápula.

Os objectivos deste trabalho passam por avaliar o dimorfismo sexual de uma amostra da população portuguesa através da análise da forma e tamanho da escápula recorrendo a métodos de morfometria geométrica e verificar se existe algum tipo de tendência secular entre a população.

A amostra tem um total de 211 indivíduos adultos provenientes de duas colecções osteológicas: CEI/XXI (Colecção de Esqueletos Identificados Século XXI) e a CEIUC (Colecção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra), com 111 indivíduos do sexo feminino e 100 do sexo masculino. Apenas foram consideradas escápulas em bom estado de preservação. As escápulas foram fotografadas e foram digitados sete pontos anatómicos com recurso aos programas “tps”. Também foi delineado o contorno escapular, através dos mesmos programas, com um número definido de quarenta pontos. A análise estatística foi realizada nos programas *MorphoJ* e *PAST*.

Os resultados apontam para diferenças significativas entre os sexos feminino e masculino no tamanho e forma da escápula. Com a análise discriminante, 72% dos indivíduos do sexo masculino e 72,07% dos indivíduos femininos foram classificados correctamente, com o método dos pontos anatómicos. Para o método com semilandmarks a classificação correcta foi de 89,2% e 89% para os sexos feminino e masculino, respectivamente. Com validação cruzada os valores da análise discriminantes diminuíram consideravelmente para os dois métodos. Para os pontos anatómicos os valores foram de 67% e 66,67% para os sexos masculino e feminino, no método de *semilandmarks* foram de 63% e 68,47% para os sexos masculino e feminino. Também existe evidência de uma tendência secular entre os indivíduos das duas colecções, sendo que os CEIUC tendem a ser maiores que os CEI/XXI.

Os métodos de morfometria geométrica permitem identificar e avaliar o dimorfismo sexual da escápula, tendo a vantagem da sua visualização e interpretação ser facilitada porque

existe uma grande facilidade em gerar representações gráficas. Todavia, os resultados não suportam a sua utilização na estimativa sexual de indivíduos não identificados. A ocorrência de tendência secular não era completamente expectável, pois as colecções são separadas temporalmente apenas por uma geração. Este facto demonstra que alterações no tamanho e forma dos ossos podem ocorrer mais rapidamente que o esperado, o que pode originar pequenos erros na estimativa sexual de indivíduos não identificados.

Palavras-chave: Antropologia Forense; pontos anatómicos; *semilandmarks*; Procrustes ANOVA; análise discriminante; validação cruzada

Abstract

The sexual diagnosis is the primary source of information in the analysis of skeletal remains in archeological and forensic contexts. Others parameters of the biological profile are sex-dependent, such as, age at death and stature. The most used methods of sex estimation are metric methods and morphological methods. In most forensic cases the skeletal remains are recovered in an incomplete and/or fragmented state, which makes it difficult to assess sex from the most sexually dimorphic bones. As an alternative, several bones have been studied for this purpose. In the case of this work, we will use the scapula.

The aims of this analysis are to assess the sexual dimorphism of the Portuguese population through the analysis of the size and shape of the scapula regarding geometric morphometrics methods and to verify any secular trend among the population.

The sample comprised 211 individuals from two osteological collections: CEI/XXI (21st Century Identified Skeletal Collection) and CEIUC (Coimbra Identified Osteological Collection), where 111 were females and 100 were males. Only scapulae in a good state of preservation were sampled. The scapulae were photographed, and seven anatomical points were digitized using the “tps” programs. The scapular contour was also traced through the same programs, with a defined number of forty points. Statistical analyses were performed using *MorphoJ* and *PAST* software.

The results show significant differences in the size and shape of the scapula between males and females. Performing a discriminant analysis, 72% of males and 72.07% of females were correctly classified using the landmarks method. For the semilandmarks method, the correct classification was 89.2% and 89% for females and males, respectively. With the use of cross-validation, the discriminant analysis values decreased considerably for the two methods. In the landmarks method the values dropped to 67% and 66.67% for males and females, for the method with semilandmarks they dropped to 63% and 68.47% for males and females. There is also evidence of a secular trend between individuals in the two collections, with CEIUC tending to be larger than CEI/XXI.

Geometric morphometric methods allow the identification and assessment of sexual dimorphism of the scapula, with the advantage that its visualization and interpretation are facilitated, due to the graphical representations generated by the programs. However, the results do not support their usefulness in sexual estimation of unidentified individuals. The occurrence of a secular trend was not completely expected, as the collections are only

temporally separated by one generation. This fact demonstrates that changes in bone size and shape can occur more quickly than expected, which can lead to small errors in the sexual estimation of unidentified individuals.

Keywords: Forensic Anthropology; landmarks; semilandmarks; Procrustes ANOVA; discriminante analysis; cross-validation;

1. Introdução

1.1. Diagnose e dimorfismo sexual

A estimativa do sexo de um indivíduo não identificado é de extrema importância em contexto forense. Uma estimativa correcta permite que as autoridades excluam à partida cerca de metade da população (Bethard & VanSickle, 2020). A diagnose sexual é um dos primeiros passos na elaboração do perfil biológico, logo é um procedimento preliminar no processo de identificação (Curate, Mestre, et al., 2021). Outros parâmetros que perfazem o perfil biológico são a ancestralidade, a idade à morte e a estatura. A avaliação destes parâmetros está dependente do sexo, pois existem diferenças no padrão de envelhecimento, padrões de crescimento que variam entre os sexos e variações morfológicas em características associadas à ancestralidade (Best et al., 2018; Garvin & Ruff, 2012; Krishan et al., 2016).

A avaliação do sexo é possível devido ao pressuposto de que existe dimorfismo sexual (Rösing et al., 2007). O dimorfismo sexual consiste nas diferenças de tamanho e forma entre indivíduos do sexo feminino e sexo masculino de uma espécie (Berg, 2017). Estas diferenças têm origem na estrutura cromossómica da nossa espécie (Best et al., 2018; Rowbotham, 2016) e tornam-se mais notórias durante a puberdade devido à acção de hormonas sexuais que regulam e controlam a expressão de caracteres sexuais secundários (Berg, 2017). O grau de dimorfismo pode ainda ser influenciado por funções biomecânicas dos ossos (locomoção e parto), factores ambientais, nutrição e selecção sexual (Bigoni et al., 2010; Christensen et al., 2019; Dunsworth, 2020; Steyn & Işcan, 1998). Por norma os indivíduos do sexo feminino são mais pequenos, gráceis e com menor musculatura que os do sexo masculino (Bigoni et al., 2010; Byers, 2016; White et al., 2011). Todavia, existe uma grande variação individual e o dimorfismo sexual parece ser específico para cada população, desse modo, muitos indivíduos são por vezes mal classificados dentro da população e indivíduos do sexo masculino de uma população podem ter características similares a indivíduos do sexo feminino de outra população (Berg, 2017; Bigoni et al., 2010; Christensen et al., 2019; Mays, 2021; Stock, 2020; White et al., 2011).

Os ossos que apresentam maior grau de dimorfismo sexual são os coxais. Estes são considerados os mais fiáveis pois apresentam características dimórficas assinaláveis, pois estão associados à reprodução e ao bipedismo e apresentam pouca especificidade populacional (Brůžek, 2002; Brůžek et al., 2017; Curate et al., 2016; d'Oliveira Coelho & Curate, 2019; Özer et al., 2014). Infelizmente, em muitos casos forenses os restos esqueléticos dos indivíduos podem

não ser completos ou estarem fragmentados, o que motiva a utilização de outros elementos ósseos para que se estime o sexo (Curate, Mestre, et al., 2021; Koukiasa et al., 2017). Durante muito tempo o crânio foi a principal alternativa caso os coxais não estivessem disponíveis, mas num estudo mais recente os ossos longos parecem produzir resultados mais exactos (Spradley & Jantz, 2011). Além dos ossos longos (Attia & Aboulnoor, 2020; Boldsen et al., 2015; Curate, Mestre, et al., 2021; Cuzzullin et al., 2020; Kranioti & Apostol, 2015) e do crânio (Čechová et al., 2019; Cunha, 1990; Garvin et al., 2014; Gillet et al., 2020; Graw et al., 1999; Petaros et al., 2017) há estudos feitos em vários outros como ossos dos pés e mãos (Curate, d'Oliveira Coelho, et al., 2021; Gualdi-Russo, 2007; Sorrentino et al., 2020), escápula e clavícula (Escoval, 2016; Koukiasa et al., 2017; Papaioannou et al., 2012; Paulis & Abu Samra, 2015; Scholtz et al., 2010), esterno (Macaluso & Lucena, 2014), patela (Peckmann, Meek, et al., 2016), vértebras (Gama et al., 2015), dentes (Kazzazi & Kranioti, 2018), entre outros.

1.2. Descrição da escápula

Este trabalho foca-se na utilização da escápula como osso alternativo na diagnose sexual. A escápula tem sido alvo de vários trabalhos sobre o seu dimorfismo sexual, desde os de Graves (1921), Hrdlička (1942a, 1942b), Frutos (2002), Scholtz et al. (2010), Papaioannou et al. (2012), Koukiasa et al. (2017) e Vassallo et al. (2021). Também para a população portuguesa foram desenvolvidos alguns métodos com destaque para Wasterlain (2000) e Escoval (2016). Os resultados produzidos por estes trabalhos foram muito variados. Podemos destacar os 96% de acerto no trabalho de Papaioannou et al. (2012) e 94,7% de Koukiasa et al. (2017). Na população portuguesa, o trabalho de Escoval (2016) produziu resultados muito bons com uma taxa de acerto máxima de 92,7% para o sexo feminino e 86,8% para o sexo masculino.

A escápula (Figura 1), segundo White et al. (2011), é um osso par, chato e triangular que possui duas faces, uma posterior e outra anterior. Situa-se acima e posteriormente em relação à caixa torácica, articula com a cabeça do úmero e com a clavícula, formando a cintura escapular. No canto superior lateral situa-se a fossa glenóide, uma concavidade onde articula a cabeça do úmero (Papaioannou et al., 2012). Na face posterior situa-se a espinha escapular que se inicia na margem medial e projecta-se lateralmente como o acrómio (White & Folkens, 2005). O acrómio, projecção lateral da espinha escapular, articula com a faceta lateral da clavícula (Papaioannou et al., 2012). O ângulo superior da escápula é onde se unem as margens superior e medial. No ângulo inferior da escápula unem-se as margens medial e lateral. A chanfradura

1. Introdução

coracóide é uma característica variável, que se situa na margem superior, forma-se na base do processo coracóide (White et al., 2011). A sua ossificação deriva de dois centros de ossificação primários, um no corpo escapular e outro no processo coracóide, e de sete ou mais centros ossificação secundários, três deles estão associados ao processo coracóide, um ao acrómio, um com a glenóide inferior, um com o ângulo inferior e um ou mais com a margem medial (White et al., 2011). A morfologia da escápula na fase intra-uterina já é comparável à de um adulto, mas a sua fusão apenas é completa numa fase tardia da maturação óssea (aproximadamente aos 23 anos), quando comparada com outros ossos (Cunningham et al., 2016). Segundo Hrdlička (1942a), no estágio fetal a escápula humana já apresenta dimorfismo sexual e na idade adulta a escápula feminina permanece grácil e com forma infantil.

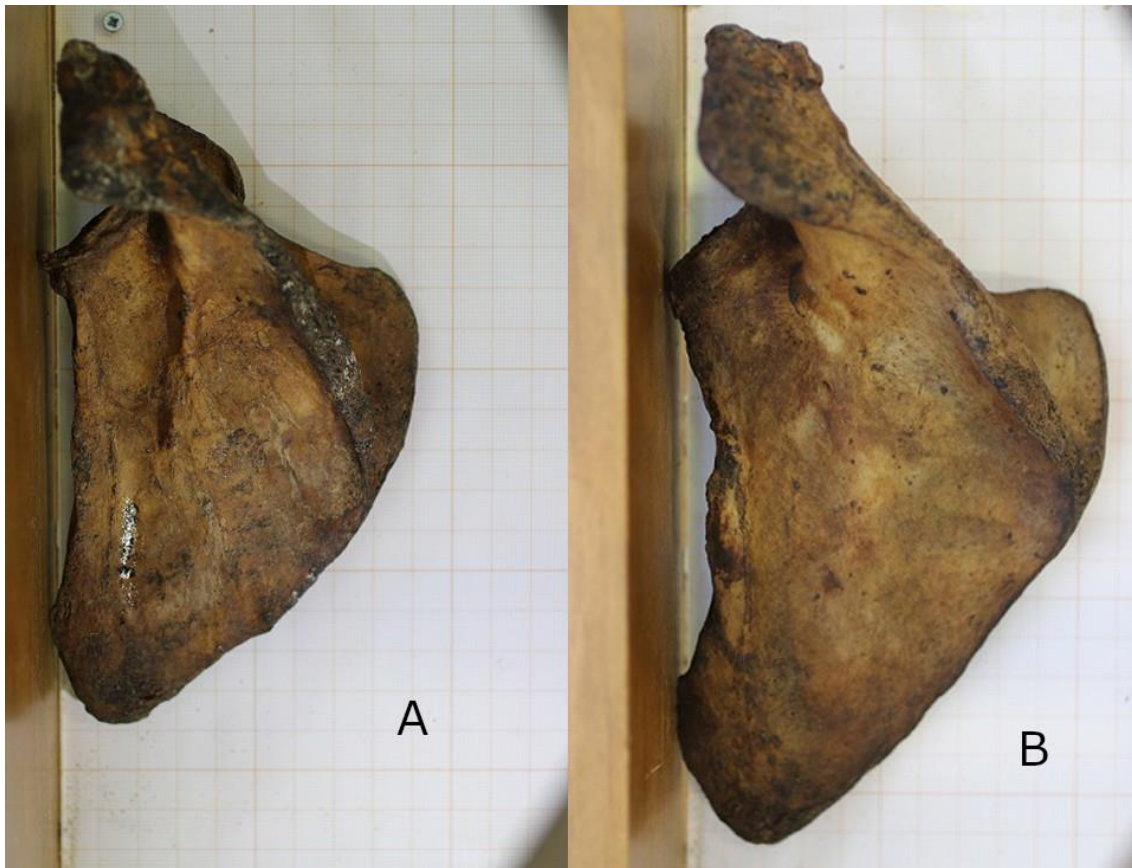


Figura 1 - Duas escápulas de indivíduos de sexos diferentes: (A) feminino (CEI/XXI_008); (B) masculino (CEI/XXI_248), ambas em vista posterior.

1.3. Métodos métricos e métodos morfológicos

Na avaliação do dimorfismo sexual são maioritariamente utilizados dois métodos, os métodos métricos e os não-métricos ou morfológicos. Os métodos morfológicos envolvem uma análise visual e qualitativa das características mais dimórficas presentes nos ossos, o que permite fazer uma rápida avaliação primária (Krishan et al., 2016; Rowbotham, 2016; Scholtz et al., 2010). Além da observação é comum usar-se um método de pontuação das áreas que são sexualmente mais dimórficas, como características presentes ou ausentes e pelo seu grau de expressão (Ammer et al., 2019). A avaliação morfológica apresenta melhores resultados em ossos intactos, pelo que a sua taxa de acerto diminui em casos que apresentem esqueletos incompletos e/ou ossos fragmentados (Krishan et al., 2016). Apresentam como vantagens a sua fácil aprendizagem e aplicabilidade (Sierp & Henneberg, 2015). Estes métodos são dependentes da experiência do observador, a classificação nem sempre é fácil de definir, apresentam um elevado erro intra e interobservador e problemas de análise (Hughes et al., 2011; Krishan et al., 2016; Petaros et al., 2017; Psonak & Kwiatkowska, 2012). Apesar destas considerações a análise morfológica da pélvis é tida como o método mais preciso (Christensen et al., 2019).

Os métodos métricos compõem um conjunto de medições de comprimentos ou de ângulos do crânio, de ossos longos e outros pós-cranianos (Galeta & Brůžek, 2020; Spradley & Jantz, 2011). Os métodos métricos avaliam as diferenças de tamanho entre indivíduos do sexo masculino e feminino (Krishan et al., 2016), baseando-se no princípio de que os indivíduos do sexo masculino são maiores que os do sexo feminino (Christensen et al., 2019). Estes tipos de métodos são considerados mais objectivos, não dependentes da experiência do observador, facilmente replicáveis e com os resultados mais robustos quando comparados com métodos morfológicos (Murail et al., 2005). O facto de utilizarem métodos estatísticos como simples proporções, pontos de cisão, regressões lineares e múltiplas ou a regressão logística produz resultados fáceis de interpretar (Krishan et al., 2016; Langley & Tersigni-Tarrant, 2017; Pretorius et al., 2006). A escolha do método estatístico é muito importante pois a qualidade dos resultados varia com o método (Christensen et al., 2019). Como exemplo, a análise de funções discriminantes permite maximizar as diferenças entre os sexos, garantindo resultados mais robusto do que utilizando pontos de cisão, por exemplo (Langley & Tersigni-Tarrant, 2017; Pietrusewsky, 2000). Infelizmente estes métodos também trazem desvantagens. A utilização destes métodos na diagnose sexual tem que ser baseada para uma população específica e os seus resultados podem ser afectados com a ocorrência de tendências seculares (Bigoni et al., 2010; Cappella et al., 2020; Dayal et al., 2008).

1.4. Métodos de morfometria geométrica

Um método de análise mais recente permite quantificar a morfologia de estruturas que tenham curvas e protuberâncias e que eram ignorados por métodos tradicionais, a morfometria geométrica (Kimmerle et al., 2008). Segundo Rohlf (1990), a morfometria geométrica descreve quantitativamente, analisa e interpreta a forma e a variação da forma de espécimes biológicos. Este tipo de métodos são uma alternativa na identificação de indivíduos não identificados a partir de restos esqueléticos, ao permitirem a avaliação de diferenças, entre grupos (por exemplo sexos), de tamanho e forma com um baixo grau de subjectividade (Bookstein, 1991; Kranioti & Michalodimitrakis, 2009; Mitteroecker et al., 2013). Esta técnica garante descrições precisas, permite uma rigorosa avaliação estatística (análise de funções discriminantes) e facilita a visualização, interpretação e comunicação dos resultados (Zelditch et al., 2012). A quantificação da forma dos espécimes é garantida com o uso de coordenadas cartesianas, como *landmarks*¹, que retêm a sua informação geométrica (Scholtz et al., 2010). Neste tipo de análise, o efeito do tamanho dos objectos é eliminada e diferenças mínimas da forma são exponenciadas nos dados obtidos, o que aumenta a precisão da técnica.

Métodos baseados em pontos anatómicos são os mais comuns em morfometria geométrica (Fruciano, 2016). Os pontos anatómicos são pontos discretos ou *loci* de equivalência entre organismos (Wärmländer et al., 2019). Matematicamente são considerados pontos de correspondência que coincidem dentro e entre populações (Zelditch et al., 2012). Os pontos anatómicos correspondem a coordenadas cartesianas e por serem homólogos podem ser localizados de forma precisa, não só na estrutura do espécime como também entre outros espécimes (Savriama, 2018), ou seja, têm sempre a mesma localização na média de todos os espécimes (Mitteroecker & Gunz, 2009). Além de homólogos os pontos anatómicos garantem uma representação morfológica adequada, podem ser estabelecidos de forma repetível e confiável e a sua posição mantém-se estável (Zelditch et al., 2012). Segundo Bookstein (1991), os pontos anatómicos podem ser de três tipos. Pontos anatómicos do Tipo I localizam-se em zonas de justaposição de tecidos, onde três estruturas se intersectam (Wärmländer et al., 2019). Podem ser entre três ossos ou entre dois ossos e um músculo (Zelditch et al., 2012). Os do Tipo II situam-se em locais de máxima ou mínima curvatura de protuberâncias ou do fim da estrutura biológica (Bookstein, 1991; Zelditch et al., 2012). Este tipo de pontos anatómicos são pontos onde são aplicadas forças biomecânicas (Wärmländer et al., 2019) e são considerados menos

¹ Podemos traduzir o termo *landmark* para ponto anatómico que será aplicada a todo o texto.

úteis que os do Tipo I, pois a sua homologia parece ser mais geométrica que biológica (Zelditch et al., 2012). Por último são os do Tipo III que são considerados por Bookstein (1991) como incompletos ou defeituosos. Apenas contêm informação sobre uma dimensão, o que os torna pouco significativos (Wärmländer et al., 2019).

Os pontos anatómicos não conseguem avaliar a forma de muitas estruturas ósseas. As curvas e superfícies não podem ser representadas por pontos anatómicos, pois a sua posição não consegue ser homóloga para todos os outros espécimes (Gunz & Mitteroecker, 2013). De forma a evitar perda de informação utilizam-se as *semilandmarks* (Bookstein, 1991). Segundo Zelditch et al. (2012), as *semilandmarks* não são pontos discretos nem homólogos como os pontos anatómicos. Elas fazem uma amostragem da curva, não da sua forma. A posição das *semilandmarks* na curva não revela nenhuma informação sobre a forma pois a sua disposição é aleatória. Ao contrário, a posição dos pontos anatómicos dá-nos informações sobre a forma. No tratamento de dados, assim que as informações não relacionadas com a forma são retiradas as *semilandmarks* são tratadas como pontos anatómicos. A figura 2 é uma representação gráfica dos diferentes tipos de pontos anatómicos e as *semilandmarks*.

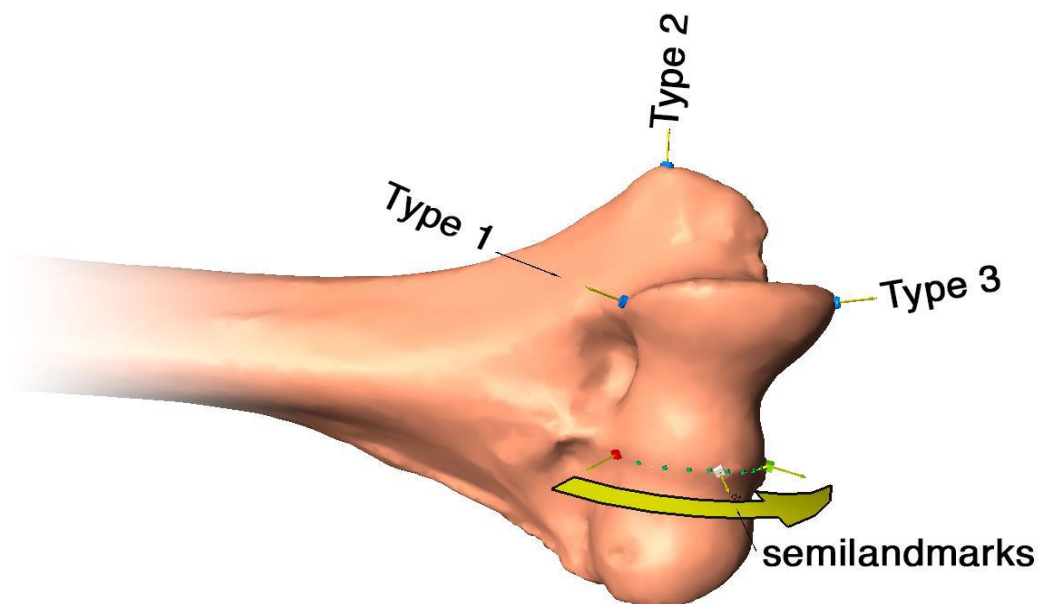


Figura 2 - Representação dos tipos de pontos anatómicos e de *semilandmarks*, na epífise distal do úmero (retirado de Coelho, (2015), p. 10). A seta amarela representa o sentido de digitação das *semilandmarks*.

Os métodos de diagnose sexual utilizados por antropólogos forenses devem ser testados, de forma independente, para avaliar a sua precisão e exactidão (Marlow & Pastor, 2011), pois as suas conclusões têm implicações legais e judiciais (Rowbotham, 2016). Devem ser actualizados devido ao impacto de vários factores genéticos e ambientais que podem provocar

alterações na forma e tamanho do esqueleto humano. Como sabemos, grande parte dos métodos são desenvolvidos em colecções osteológicas de populações antigas ou contemporâneas, que podem apresentar algumas diferenças na forma e no tamanho e que diminuem a sua fiabilidade. Também devemos ter em conta que a maioria dos métodos são desenvolvidos para populações específicas, logo devem ser testados noutra população antes de serem utilizados, caso contrário os resultados obtidos serão pouco fiáveis (Paulis & Abu Samra, 2015). Por exemplo, a maioria dos métodos métricos para diagnose sexual classificam os indivíduos do sexo masculino, portugueses, como femininos pois os indivíduos da população portuguesa são mais pequenos que a média de outros indivíduos europeus ou americanos (Ammer et al., 2019).

1.5. Objectivos

Até à data não temos conhecimento de nenhum trabalho de morfometria geométrica que avalie o dimorfismo sexual da escápula da população portuguesa. Naturalmente, a escolha do tema do nosso trabalho assenta ainda na necessidade de desenvolver um novo método de estimativa sexual para a população portuguesa. Para isso vamos produzir e testar, na população portuguesa, um método baseado no estudo de Scholtz et al. (2010) para a população sul-africana. Deste modo esperamos conseguir:

1. Avaliar o dimorfismo sexual da escápula da população portuguesa através do estudo de duas colecções osteológicas identificadas, a Colecção de Esqueletos Identificados Século XXI (CEI/XXI) e a Colecção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra (CEIUC). Para a avaliação do dimorfismo sexual serão utilizados dois métodos de morfometria geométrica, o método dos pontos anatómicos e das *semilandmarks*;
2. Inferir qual dos métodos é o mais preciso na estimativa do sexo dos indivíduos, recorrendo à validação cruzada;
3. Desenvolvimento de um novo método para a diagnose sexual de indivíduos não identificados, caso os resultados da validação cruzada sejam viáveis;
4. Avaliar a existência de algum tipo de tendência secular entre os indivíduos das duas colecções osteológicas que possa afectar os resultados e a viabilidade da aplicação dos métodos na população portuguesa moderna.

2. Material e Métodos

2.1. Material

A amostra do estudo é composta por indivíduos provenientes de duas colecções de esqueletos identificados curadas no Departamento de Ciências da Vida da Universidade de Coimbra, a Colecção de Esqueletos Identificados Século XXI (CEI/XXI) e a Colecção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra (CEIUC). A amostra é composta por um total de 211 indivíduos, 131 provenientes da CEI/XXI e 80 provenientes da CEIUC. Da amostra da CEI/XXI, 71 indivíduos são do sexo feminino e 60 do sexo masculino, enquanto os 80 indivíduos da CEIUC se dividem em 40 do sexo feminino e 40 do sexo masculino. Como pode ser observado na tabela 2.1, a média de idades de todos os indivíduos da amostra é de 68,74 anos, com um desvio-padrão de 19,94 anos. Para os indivíduos do sexo feminino a média de idades situa-se nos 70,51 anos com um desvio-padrão de 20,27 anos; tendo o indivíduo mais novo 17 anos e o mais velho 98 anos. Os indivíduos do sexo masculino apresentaram uma média de idades de 66,76 anos com um desvio-padrão de 19,48 anos; o indivíduo mais novo tinha 19 anos e o mais velho 96 anos.

Tabela 1 - Distribuição etária, segundo a colecção osteológica, e respectivo número de indivíduos.

	CEI/XXI			CEIUC			Total		
	n	Idade		n	Idade		n	Idade	
		\bar{X}	DP		\bar{X}	DP		\bar{X}	DP
Feminino	71	81,80	10,07	40	50,48	18,24	111	70,51	20,27
Masculino	60	78,58	9,93	40	48,73	15,85	100	66,76	19,48
Total	131	80,63	10,6	80	49,6	17	211	68,74	19,94

Legenda: n - nº de indivíduos; \bar{X} - Média; DP – Desvio Padrão

2.1.1. A Coleção de Esqueletos Identificados Século XXI

A Coleção de Esqueletos Identificados Século XXI (CEI/XXI) é composta por 302 esqueletos adultos de ambos os sexos, sendo 162 indivíduos do sexo feminino, com idades entre os 28 e 101 anos, e 140 do sexo masculino, com idades entre os 25 e 96 anos (Ferreira et al., 2014). Os indivíduos que compõem esta coleção são provenientes do Cemitério dos Capuchos, Santarém, sendo que os primeiros esqueletos chegaram à coleção em 2009 e os últimos em 2016 (Ferreira et al., 2021). Esta coleção tem origem num protocolo com a Câmara Municipal de Santarém em 2007 (Ferreira et al., 2014) que os disponibilizou para fins de investigação e ensino. O protocolo está ao abrigo do Decreto-Lei n.º 411/98 de 30 de Dezembro, que permite exumações não judiciais após três anos de inumação, desde que o corpo esteja completamente esqueletizado. Todos os indivíduos faleceram entre 1982 e 2012 e foram exumados entre 1999 e 2016 (Ferreira et al., 2021).

2.1.2. A Coleção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra

A Coleção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra (CEIUC) é composta por 505 indivíduos, dos quais 266 são do sexo masculino e 239 do sexo feminino, exumados do Cemitério da Conchada, Coimbra (Cunha & Wasterlain, 2007). A coleção foi fundada em 1915 por Eusébio Tamagnini (Rocha, 1995). Estão representados indivíduos nascidos entre 1817 e 1924 e que faleceram entre 1904 e 1938, com a idade à morte dos indivíduos a variar entre os 7 e os 96 anos (Cunha & Wasterlain, 2007).

2.2. Métodos

2.2.1. Recolha de dados

Para a realização deste trabalho foram selecionados indivíduos adultos cuja escápula esquerda se encontrasse bem preservada, sem evidências de patologias ou de alterações tafonómicas que lhes alterassem significativamente a forma (Figura 3).

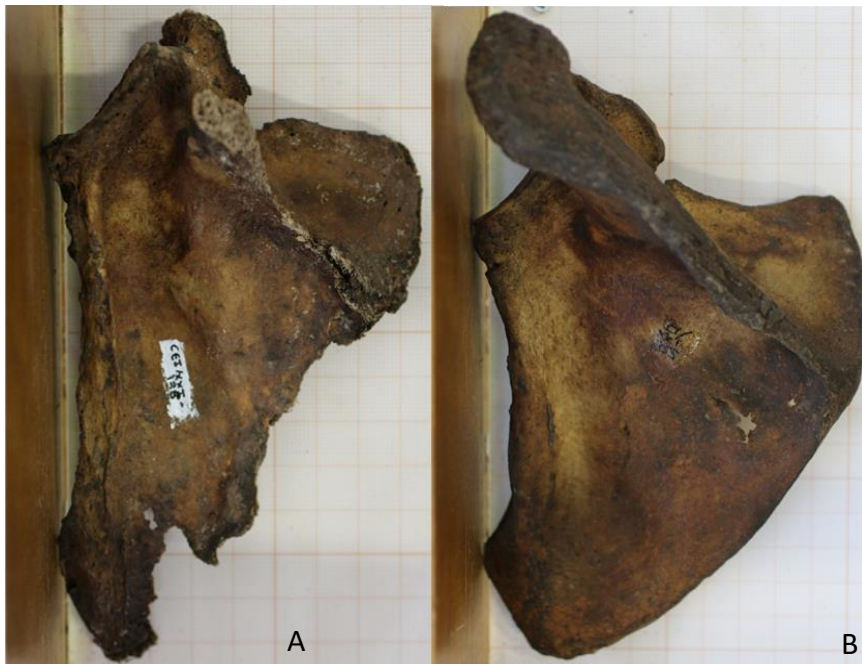


Figura 3 - Comparação entre uma escápula considerada bem preservada (B) com uma considerada má preservada (A). Escápula esquerda do indivíduo CEI/XXI_175 (A) e escápula esquerda do indivíduo CEI/XXI_253 (B), ambas em vista posterior.

De forma a garantir que as escápulas se situavam sempre na mesma posição, estas foram colocadas numa tábua osteométrica com papel milimétrico em vista posterior, ou seja, com a face dorsal voltada para cima. A margem lateral da escápula foi colocada voltada para a superfície vertical da tábua osteométrica, de forma que a fossa glenóide estivesse em contacto com a parte vertical da tábua.

O registo fotográfico foi feito sobre a superfície dorsal das escápulas esquerdas, com recurso a uma máquina fotográfica Canon EOS 70D, montada num tripé, numa posição fixa, a uma distância de 50cm do exemplar a ser fotografado, com uma lente Macro de distância focal de 50mm com uma abertura de 2,5. A máquina estava focada num ponto marcado no papel milimétrico, de forma a garantir que as fotografias eram realizadas na mesma posição.

2. Material e Métodos

Após as capturas das imagens estas foram transferidas para um computador onde foram renomeadas com as nomenclaturas “ID_CEI/XXI_###_F” e “ID_CEI/XXI_###_M”, caso fossem indivíduos da CEI/XXI e do sexo feminino ou masculino, respectivamente. Para os indivíduos da CEIUC foram usadas as nomenclaturas “ID_CEICVUC_###_F” e “ID_CEICVUC_###_M”, caso fossem indivíduos do sexo feminino ou masculino. Nas nomenclaturas a porção “###” é a que indica os números dos indivíduos. De forma que os programas usados ordenassem correctamente os indivíduos estes deviam ter o mesmo número de algarismos (no caso deste trabalho 3). Por exemplo, de forma a ficarem ordenados correctamente, o número dos indivíduos deve ser colocados na seguinte forma: 001; 002; 011; 022; 111; 222, caso contrário a ordenação dos números ficaria: 1; 11; 111; 2; 22; 222. Também o número de caracteres deve ser o mesmo, daí se ter colocado as iniciais “CV” na nomenclatura dos indivíduos pertencentes à CEIUC.

2.2.2. Pontos Anatómicos e *Semilandmarks*

Após este processo as imagens foram marcadas com sete pontos anatómicos (PA) homólogos de forma a ser feita a análise de morfometria geométrica. A escolha dos pontos anatómicos foi baseada nos trabalhos de Taylor & Slice (2005) e Scholtz et al. (2010) e foram as seguintes (ver Figura 4):

- Ponto anatómico 1 (PA1) – Ponto médio da fossa glenóide;
- Ponto anatómico 2 (PA2) – Ponto mais inferior da fossa glenóide, onde contacta com a tábua osteométrica;
- Ponto anatómico 3 (PA3) – Na posição onde a margem lateral toca a superfície vertical da tábua osteométrica;
- Ponto anatómico 4 (PA4) – Parte mais inferior do ângulo inferior da escápula;
- Ponto anatómico 5 (PA5) – Intersecção entre a espinha escapular e a margem medial;
- Ponto anatómico 6 (PA6) – Parte superior do ângulo superior da escápula;
- Ponto anatómico 7 (PA7) – Base da chanfradura coracóideia.

Com base na tipologia de Bookstein (1991) e Weber e Bookstein (2011) podemos definir a escolha dos pontos anatómicos como: Tipo II – PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA7; Tipo III – PA1.



Figura 4 - Vista posterior da escápula de um indivíduo adulto do sexo masculino, ilustrando os pontos anatómicos descritos.

Para a marcação dos pontos anatómicos recorreu-se aos programas *tps* (produzidos por F. James Rohlf), uma série de programas para análise de morfometria geométrica (Rohlf, 2015). Primeiro foi necessário criar um ficheiro .TPS, que basicamente consiste nas imagens que se irão digitar, através do programa *tpsUtil* (disponível online em <http://www.sbmorphometrics.org/>). No passo seguinte é usado o programa *tpsDig* (disponível online em <http://www.sbmorphometrics.org/>), neste programa faz-se a captura das coordenadas dos pontos anatómicos, através da sua digitação nas imagens. Antes da digitação dos pontos anatómicos deve ser definida a escala. A escala define-se na imagem, neste caso a escala definida correspondeu a 1cm, que foi medido no papel milimétrico que fazia de contraste à escápula. A escala é usada para converter as coordenadas de pixéis para uma unidade de medida à escolha e para que os pontos anatómicos tenham a mesma configuração para todos os espécimes em análise (Viscosi & Cardini, 2011). Foi seleccionado o modo “Digitize landmarks”

2. Material e Métodos

para realizar a digitação dos pontos anatómicos. Esta foi feita seguindo a mesma ordem para todas as imagens, ou seja, a começar no PA1 e a acabar no PA7.

O método das *semilandmarks* consiste em marcar o contorno das escápulas, iniciando-se no local correspondente ao PA1 e acabando no PA7 (ver Figura 5). De forma que todas as imagens tivessem o mesmo número de pontos, definiu-se que, depois de delinear cada escápula, seria feita uma reamostragem (*resample*) da imagem para 40 pontos.

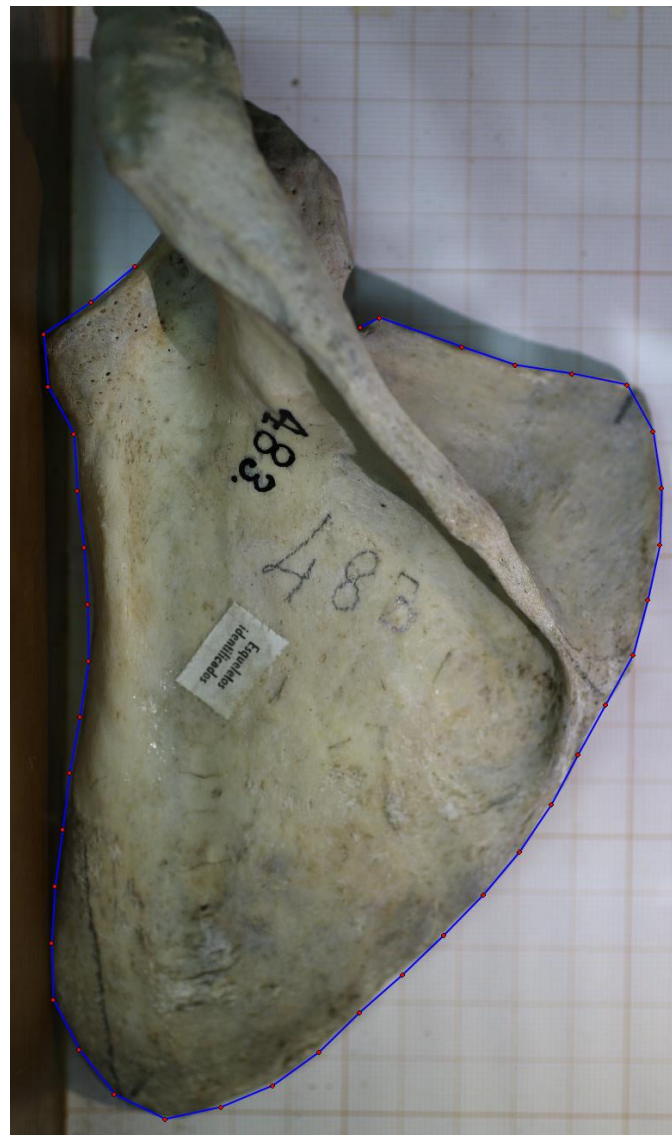


Figura 5 - Vista posterior da escápula de um indivíduo adulto do sexo masculino, ilustrando o contorno da escápula.

Para o delineamento do contorno das escápulas foi necessário usar os ficheiros .TPS, contendo as informações das *semilandmarks*, e o mesmo programa utilizado na marcação dos

2. Material e Métodos

pontos anatómicos. No *tpsDig* começou-se por definir a escala, que foi de 1cm, no papel milimétrico que é utilizado para fazer contraste. Em seguida seleccionou-se o modo “Draw background curve” e iniciou-se o contorno no local definido como PA1, até ser finalizado no PA7. Em todas as imagens o contorno começou a ser delineado no PA1 e acabou no PA7. Após cada delineamento devemos seleccionar a opção “Resample curve” definir o número de pontos como 40. Este passo serve que todos os espécimes tenham o mesmo número de pontos. A escolha do número total de pontos foi 40 pois esse valor permite incluir, no contorno, toda a informação contida nos espécimes.

Após a digitação dos pontos anatómicos, os ficheiros .TPS devem ser abertos através do programa *Notepad++* (by Don Ho; disponível online em <https://notepad-plus-plus.org/downloads/>). Nesse programa podemos ver as informações como o número de pontos anatómicos e as suas coordenadas, o nome da imagem e a escala. As coordenadas dos pontos anatómicos contêm vírgulas, que devem ser trocadas por pontos, pois muitos programas de estatística (como o *MorphoJ*) não reconhecem esse carácter. O programa *Notepad++* permite fazer essa troca automaticamente em todo o ficheiro. Depois de alteradas as vírgulas o ficheiro é gravado em formato .txt e está pronto a ser aberto por programas de estatística.

Para os dados das *semilandmarks* há ainda outros passos a serem realizados antes de iniciarmos a sua análise estatística. Por termos usado a opção “Resample curve” no *tpsDig* ficamos com informações que outros programas de análise não conseguem interpretar, pelo que devem ser eliminados. Para eliminarmos essa informação supérflua necessitamos de utilizar o programa *tpsUtil*, usando a opção “Append tps Curve to landmarks”, que cria um ficheiro .TPS sem essas informações (“appended”). Após este passo temos que criar um ficheiro que tenha a informação de que pontos são *semilandmarks* e quais os pontos de “deslizam” entre si. Recorrendo novamente ao *tpsUtil*, utilizamos a função “make sliders file” a partir do ficheiro “appended”. Ao fazermos o “sliders file” temos que unir cada ponto, 40 no nosso caso, mas os pontos não se unem linearmente, ou seja, não se une o ponto 1 com o ponto 2. O que devemos fazer é unir o ponto 1 com o ponto 3, passando pelo ponto 2, em seguida unimos o ponto 2 com o 4, passando pelo ponto 3 e assim sucessivamente até chegarmos ao ponto 40. Por último devemos fazer uma superimposição dos nossos dados. Para isso recorreremos ao programa *tpsRelw*, onde fazemos “input” do nosso ficheiro “appended”. Nas opções “compute” seleccionamos a opção “consensus” e nas opções “display” abre uma janela com a representação gráfica com o consenso dos pontos. Aí seleccionamos “File”, depois “Save” e finalmente “Save aligned”, onde obtemos um ficheiro .TPS em que todos os pontos se

2. Material e Métodos

apresentam superimpostos. É este último ficheiro que deve ser usado nos programas de análise estatística.

O programa de estatística usado foi o *MorphoJ* (by Klingenberg; disponível online em https://morphometrics.uk/MorphoJ_page.html). Este é um programa de fácil utilização que permite fazer análises de morfometria geométrica, permitindo que o utilizador se concentre nos aspectos biológicos e estatísticos da análise (Klingenberg, 2011).

O primeiro passo após a importação dos dados para o *MorphoJ* - e o primeiro passo em todas as análises de morfometria geométrica - é proceder-se a uma superimposição de Procrustes, o que vai permitir extrair informação sobre a forma dos objectos em estudo (Dryden & Mardia, 2016). Após a extração da informação contida na forma procede-se à análise estatística. Começa-se por fazer uma PCA (Análise de Componentes Principais), que nos permite examinar as características da variação da forma de uma amostra (Klingenberg, 2011). Em seguida procedemos à Procrustes ANOVA, este método estatístico permite-nos quantificar efeitos que tenham relevância biológica (Klingenberg et al., 2002; Klingenberg & McIntyre, 1998). De forma a avaliar a ordenação dos espécimes em grupos (p.e sexo) é usada a CVA (Canonical Variate Analysis); para percebermos como é que os espécimes que distribuem correctamente nos grupos efectuou-se o método de análise discriminante com validação cruzada (Klingenberg, 2011). Por último, procede-se a uma regressão multivariada, de forma a avaliar a alometria (Drake & Klingenberg, 2008).

De forma a complementar graficamente a análise dos dados, foi usado o programa *PAST* (by Oyvind Hammer, disponível online em <https://past.en.lo4d.com/windows>). Primeiro devemos importar o ficheiro .txt, que contém as informações dos pontos anatómicos, para o *PAST*. Em seguida, tal como foi efectuado no *MorphoJ*, devemos proceder a uma superimposição de Procrustes. A partir de agora os nossos dados estão transformados e prontos para qualquer análise neste programa. A análise que foi feita neste programa foi um PCA, de forma a obtermos dois gráficos complementares, um gráfico de dispersão, onde estão representados todos os indivíduos e nos permite ver se há diferenças entre eles, e um gráfico *scree plot*. Este gráfico indica-nos quais os PCs (Principal Components) que têm maior influência na forma das escápulas (são aqueles que se situam acima de uma linha tracejada, a qual é dada o nome de *broken stick*).

2.2.3. Superimposição de PROCRUSTES

A superimposição de PROCRUSTES é essencial para a análise dos dados de morfometria geométrica ao permitir avaliar matematicamente estudos relacionados com variação de forma (Klingenberg, 2013). Consiste num algoritmo que permite remover os efeitos da localização, tamanho e rotação de indivíduos representados por coordenadas cartesianas (Dryden & Mardia, 2016; Gower, 1975; Klingenberg, 2013; Viscosi & Cardini, 2011). Rohlf & Slice (1990) definiram que este processo ocorre em três passos:

1. Centrar cada indivíduo (segundo os seus pontos anatómicos) subtraindo as coordenadas de cada centróide com as coordenadas de cada ponto anatómico que lhe corresponde. Ocorre a translação das configurações de pontos anatómicos de todos os indivíduos de maneira que ambos os centróides fiquem nas mesmas coordenadas cartesianas (Klingenberg, 2020; Mitteroecker & Gunz, 2009);
2. Todos os indivíduos ficam à mesma escala. Cada coordenada de cada ponto anatómico é dividida pelo tamanho do centróide que lhe corresponde, resultando no mesmo tamanho de centróide para todos (Klingenberg, 2020).
3. Após todos os indivíduos estarem na mesma localização e à mesma escala, sofrem uma rotação, sobre o seu centróide, de forma que a soma dos quadrados da distância Euclidiana entre os pontos anatómicos homólogos seja mínima. Depois da rotação obtém-se a média de cada coordenada e os indivíduos voltam a sofrer rotação até o consenso ter a menor distância pontos homólogos possível (Klingenberg, 2020; Mitteroecker & Gunz, 2009).

As coordenadas resultantes do processo de superimposição são denominadas coordenadas de forma de Procrustes e apenas contêm informação sobre a variação da forma (Dryden & Mardia, 2016; Klingenberg, 2020; Mitteroecker et al., 2013; Tatsuta et al., 2018; Zelditch et al., 2012).

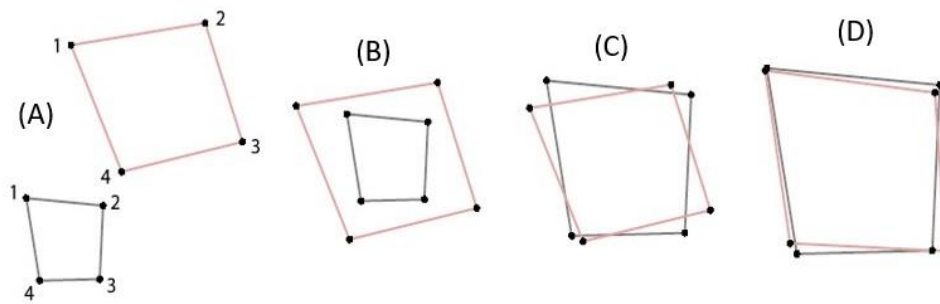


Figura 6 - Representação gráfica do processo de superimposição de Procrustes (retirado de Mitteroecker & Gunz, (2009), p.5). Em (A) os objectos estão no seu estado inicial; (B) os objectos estão centrados, os centróides partilham as mesmas coordenadas cartesianas; (C) objectos encontram-se centrados e têm a mesma escala; (D) após estarem centrados, com a mesma escala os objectos sofrem rotação de modo que a distância entre os pontos homólogos seja mínima.

2.3. Métodos estatísticos

2.3.1. Análise de Componentes Principais (PCA)

Este método é usado para extrair e avaliar os principais padrões de variação da forma, a partir de uma autoanálise da matriz de covariância que se obtém após a superimposição de Procrustes (Savriama, 2018).

O PCA simplifica a amostra, reduzindo a sua dimensão, enquanto preserva a maior parte da variação dos dados (Jolliffe & Cadima, 2016; Mitteroecker & Gunz, 2009; Zelditch et al., 2012). Esta “simplificação” da amostra significa que são encontradas novas variáveis, que maximizam a variância e que são independentes, e são designadas por *Principal Components* (PCs) (Jolliffe & Cadima, 2016; Zelditch et al., 2012). As novas variáveis são funções lineares daquelas que se encontram nos dados primários (Jolliffe & Cadima, 2016; Mitteroecker & Gunz, 2009). A cada PC está associado um valor que indica a sua variância. O 1º PC representa sempre o máximo de variação possível, o 2º o máximo de variância após o PC1 e assim sucessivamente (Manthey & Ousley, 2020; Savriama, 2018).

2.3.2. Canonical Variates Analysis (CVA)

A CVA é um tipo de análise de ordenação, multivariada, que maximiza a separação por grupos pré-definidos, classificando os espécimes consoante o grupo a que pertencem (Klingenberg, 2011; Manthey & Ousley, 2020; Viscosi & Cardini, 2011; Zelditch et al., 2012). Este procedimento é aplicado a vários estudos de morfometria geométrica, antropológicos e de biologia, quando se pretende analisar o sexo, população ou espécie (Manthey & Ousley, 2020; Viscosi & Cardini, 2011). Permite uma estimativa do número de indivíduos que podem ser classificados num dos grupos pré-definidos, o que significa que a CVA usa diferenças na forma média dos indivíduos bem como em outras características dos indivíduos que não se sobrepõem (Zelditch et al., 2012).

2.3.3. Análise Discriminante

Tal como a CVA, a análise discriminante classifica os indivíduos em grupos, focando-se nas diferenças entre eles. A vantagem da análise discriminante em relação à CVA é que usa um processo de validação cruzada que torna a classificação em grupos mais viável em relação à análise sem validação cruzada (Kovarovic et al., 2011). No nosso estudo foi usado um tipo de validação cruzada designado por *jackknife*. Este tipo de validação cruzada deixa cada indivíduo de fora da análise e a sua classificação é feita a partir das informações dos outros indivíduos (Viscosi & Cardini, 2011). Assim as previsões não entram num “raciocínio circular”, que inflaciona a exactidão com que os indivíduos são classificados quando não se usa validação cruzada (Viscosi & Cardini, 2011; Zelditch et al., 2012).

2.3.4. Procrustes ANOVA

Para testar as diferenças entre grupos foi usada a Procrustes ANOVA ou MANOVA (*multivariate analysis of variance*). Este tipo de ANOVA usa como dados as coordenadas de Procrustes que se obtiveram após a superimposição. A variância é dividida a partir de uma hierarquia de soma de quadrados, de forma a cada efeito se ajustar aos outros efeitos, o que nos permite quantificar diferenças entre indivíduos (Viscosi & Cardini, 2011).

A Procrustes ANOVA foi usada para quantificar as diferenças entre o sexo dos indivíduos e para quantificar os erros observacionais. Este teste analisa o tamanho do centróide e a forma dos espécimes.

2.3.5. Regressão linear

De forma a avaliar a influência do tamanho das escápulas dos indivíduos na sua forma recorreu-se à regressão linear. A influência que o tamanho tem na forma denomina-se por alometria e pode ser estatisticamente significativa na variação morfológica (Espinoza-Donoso et al., 2020; Mitteroecker et al., 2013; Viscosi & Cardini, 2011). O tamanho do centróide é a variável independente e deve ser transformado no seu logaritmo natural, essa opção é dada no programa MorphoJ, enquanto as coordenadas de Procrustes são a variável dependente. A transformação em logaritmo permite que os valores do tamanho encaixem melhor no modelo,

que explica a percentagem de variação da forma devido ao tamanho do centróide (Viscosi & Cardini, 2011).

2.4. Visualização de diferenças: *Thin-plate Spline*

A visualização de alterações da forma é extremamente importante em morfometria geométrica. Uma das vantagens desta técnica é permitir a visualização de diferenças na forma através de gráficos e figuras ou de animações computadorizadas (Klingenberg, 2013). A diferença entre a forma de dois objectos pode ser mostrada através do deslocamento dos pontos anatómicos (Polly, 2018).

Uma das melhores maneiras de visualizar as diferenças de forma é através do método de *Thin-plate Spline* (TPS). Para além da visualização, este método é utilizado quando ocorre diminuição da dimensionalidade, sem que haja perda de informação (Zelditch et al., 2012) e ainda permite a superimposição de *semilandmarks* (Gunz & Mitteroecker, 2013; Zelditch et al., 2012).

Este método permite criar grelhas de transformação onde se observam diferenças entre a forma de referência e a forma final, ao mesmo tempo que promove uma transição “suave”, ou seja, com o mínimo de alterações ou diferenças abruptas (Gunz, 2020; Gunz & Mitteroecker, 2013; Polly, 2018; Zelditch et al., 2012). Funciona através de um algoritmo de interpolação, baseado nos pontos anatómicos da forma referência e forma final e ainda no espaço entre os pontos anatómicos (Gunz, 2020).

2.5. Erros observacionais

Existem vários tipos de erros associados aos métodos de geometria morfométrica. Fox et al. (2020) identificaram três tipos de erro, erro associado ao material de recolha de imagens (erro do tipo instrumental), erro associado à apresentação dos espécimes (erro metodológico) e erro associado à observação, que pode ser intraobservador e interobservador (erro pessoal).

2.5.1. Erro intraobservador

O erro intraobservador deriva da possibilidade de um indivíduo poder colocar os mesmos pontos anatómicos numa zona diferente de espécime para espécime, ou no mesmo espécime durante outra sessão de digitação (Fox et al., 2020). O erro intraobservador pode dever-se a vários factores, como a experiência de digitação do observador e a facilidade de observação da zona anatómica onde deve ser colocado o ponto (Fruciano, 2016; Osis et al., 2015).

Para o cálculo do erro intraobservador foram usados 15 espécimes da CEIUC. Cada espécime foi digitado duas vezes, com os pontos anatómicos previamente definidos, fazendo um total de 30 imagens. Após a digitação dos mesmos foi usado o programa MorphoJ, onde se fez uma superimposição de Procrustes, de forma a se obter todas as coordenadas cartesianas correspondentes aos pontos anatómicos (Dryden & Mardia, 2016). Em seguida procedeu-se a uma análise aos componentes principais (PCA), o que permitiu ver os padrões de variação da forma da amostra (Benítez et al., 2014). Para avaliar a variação dos pontos anatómicos foi aplicada uma Procrustes ANOVA.

3. Resultados

3.1. Erro Intraobservador

Aplicando a Procrustes ANOVA podemos observar que o erro intraobservador é negligenciável, já que a média dos quadrados (MS) para a variação individual é bastante superior ao valor calculado para o erro. Assim, podemos afirmar que existem diferenças significativas, do ponto de vista estatístico ($P < 0,0001$), tanto no tamanho do centróide como na forma (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultado da Procrustes ANOVA para o erro intraobservador aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	33,798357	2,414168	14	1979,15	<0,0001
Erro 1	0,018297	0,00122	15		

Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,16689753	0,001192125	140	251,16	<0,0001
Erro 1	0,00071198	0,0000047466	150		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS – média da soma dos quadrados

3.2. Análise de dimorfismo sexual através de Pontos Anatômicos

3.2.1. Coleção de Esqueletos Identificados Século XXI

Para avaliar o dimorfismo sexual dos indivíduos pertencentes à CEI/XXI foi aplicada uma Procrustes ANOVA, tendo-se observado diferenças significativas entre os sexos (Tabela 3). A escápula dos indivíduos do sexo feminino tende a ser mais estreita que a dos indivíduos do sexo masculino, por seu lado a margem lateral nos indivíduos do sexo masculino é mais encurvada que nos indivíduos do sexo feminino e o mesmo é observado para a margem medial da escápula. Na figura 7 está representada graficamente a superimposição de Procrustes. Esta imagem permite-nos observar a média de cada ponto anatômico e ainda a posição de cada ponto anatômico por indivíduo. Podemos também analisar a variação da forma entre cada indivíduo nos respectivos pontos anatômicos. A figura 8 serve de exemplo para a representação do consenso dos pontos anatômicos dos indivíduos do sexo masculino.

Tabela 3 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do Centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	110,809293	110,809293	1	44,16	<0,0001
Residual	323,688588	2,509214	129		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,02491839	0,002491839	10	3,98	<0,0001
Residual	0,80784838	0,000626239	1290		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - Sexo

Apesar de existirem diferenças entre os sexos, quer para a forma quer para o tamanho do centróide, podemos observar que a forma não é o componente mais influente no dimorfismo sexual, mas sim o tamanho do centróide. Os indivíduos do sexo masculino são os que apresentam maior tamanho do centróide.

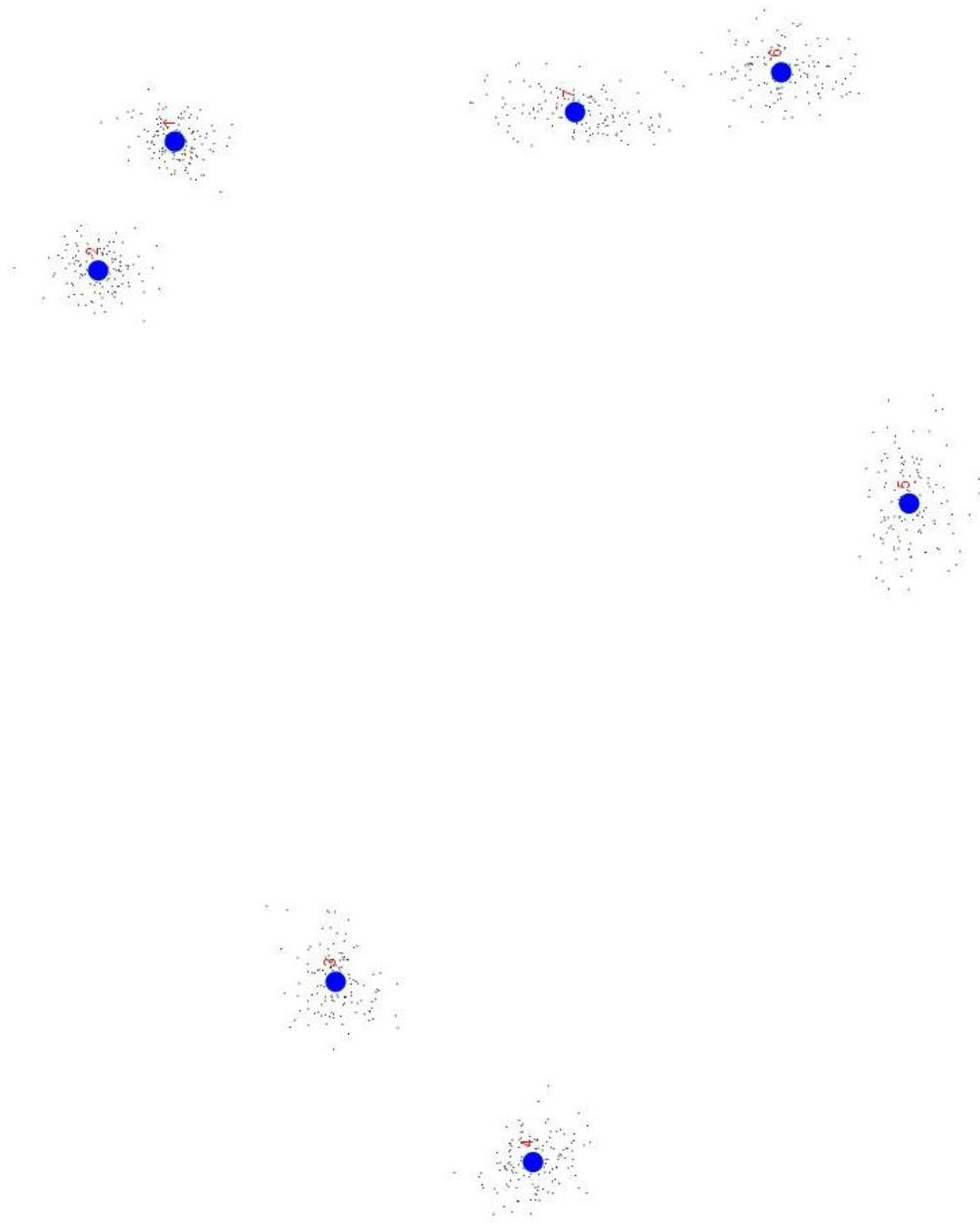


Figura 7 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos da CEI/XXI. Nos PA1 e 2 os pontos estão distribuídos numa forma circular à volta do ponto médio, o que significa uma menor variabilidade. Ao contrário, nos PA5 e 7 os pontos dispõem-se numa forma mais extensa o que significa uma maior variabilidade na posição do ponto entre os indivíduos.

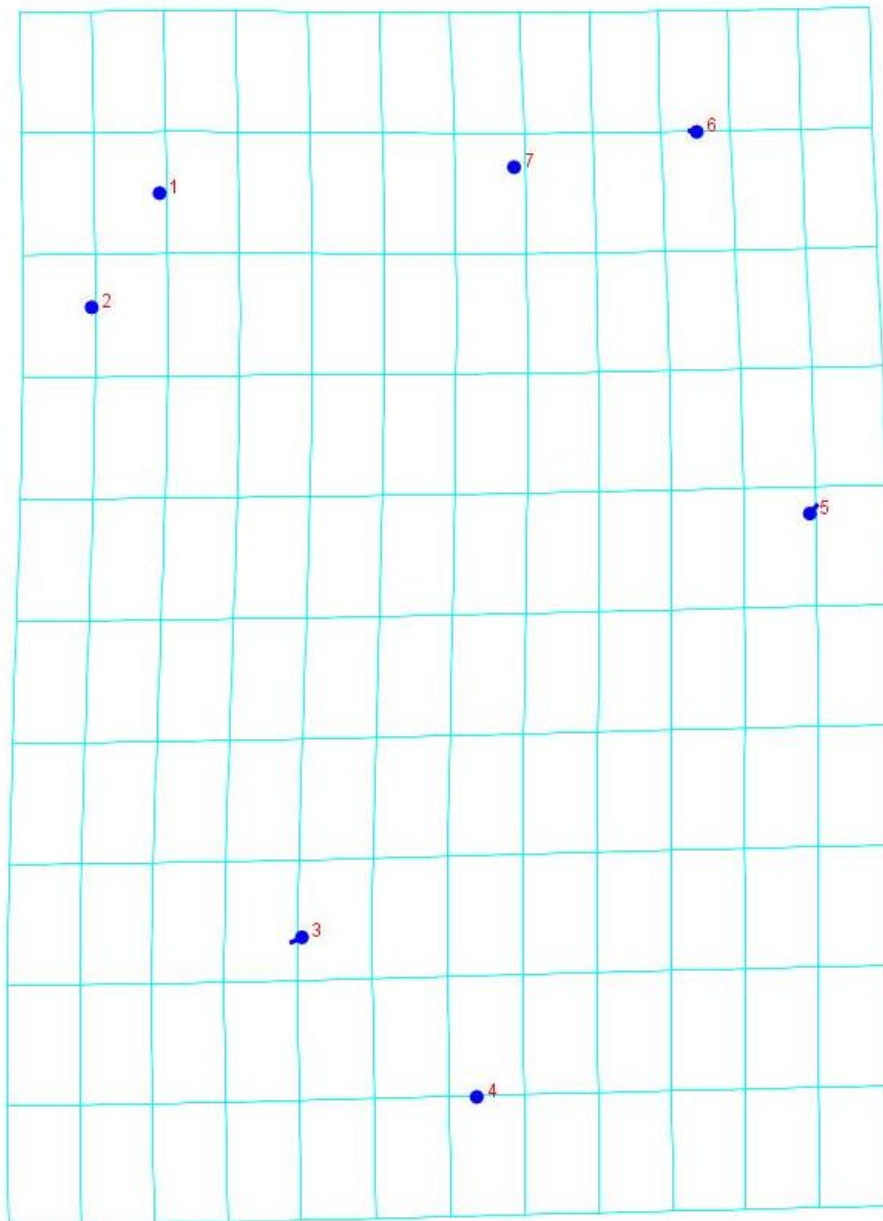


Figura 8 - Grelha de transformação com o consenso dos pontos anatómicos para o sexo masculino da CEI/XXI.

Foi realizado uma PCA que nos permitiu perceber quais os PCs que explicam a variação da amostra. Como resultado foi efectuado um gráfico *scree plot* (Figura 9) que nos indica que os PCs com maior influência na variação total são: PC1 –36,17%; PC2 – 20,94%; PC3 – 13,43%; PC4 – 11,24%. Estes quatro primeiros PCs são responsáveis por 81,78% da variação total da forma. Com base nos resultados apresentados pelo *scree plot* foi feita a comparação entre o PC1 e PC2 através de um gráfico de dispersão (*scatter plot*) onde observamos diferenças significativas entre os sexos (Figura 10).

3. Resultados

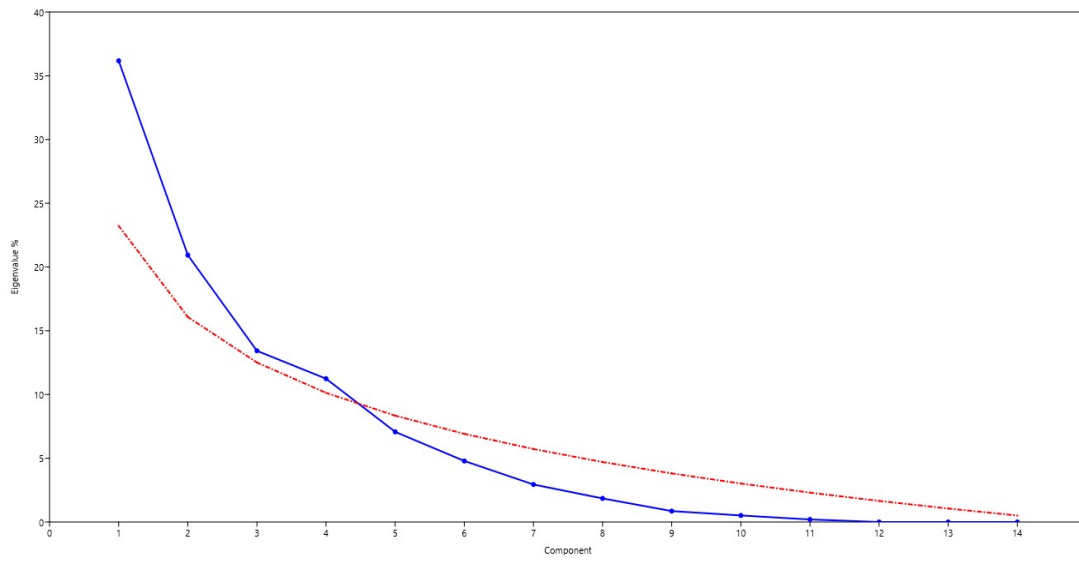


Figura 9 - *Scree plot* com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos da CEI/XXI. Os PC que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

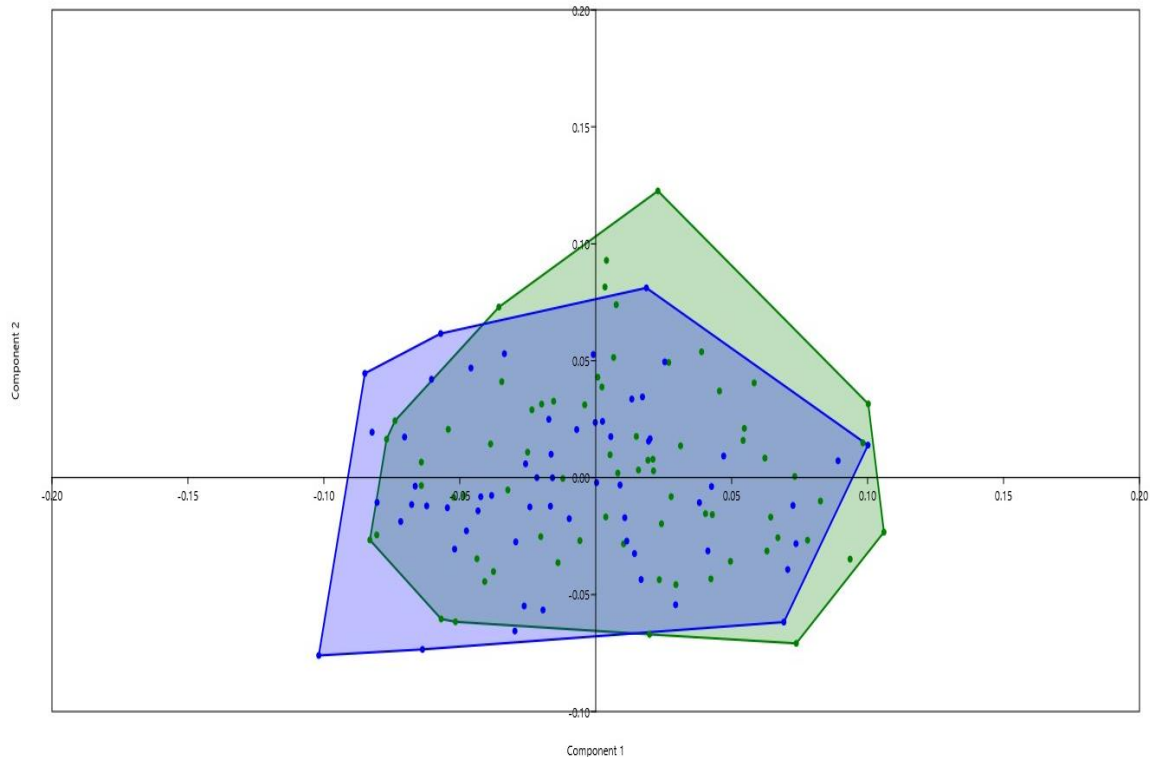


Figura 10 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCS, a verde estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI.

3. Resultados

Na figura 11 podemos observar de que maneira é que os PCs influenciam a forma da escápula. O PC1 alarga os espécimes, na zona medial e distal, e encolhe-os nas regiões dos ângulos superiores e inferiores. Por sua vez, o PC2 aumenta o comprimento dos espécimes, aumenta a largura na zona medial e diminui-a na zona distal, na zona da cavidade glenóidea. Já o PC3, origina um aumento do comprimento da escápula, diminui a sua largura na região distal e na zona da fossa supraespinhosa, mas na restante região medial - abaixo da fossa supraespinhosa – a largura aumenta. Por último, o PC4 aumenta os espécimes em todas as suas dimensões.

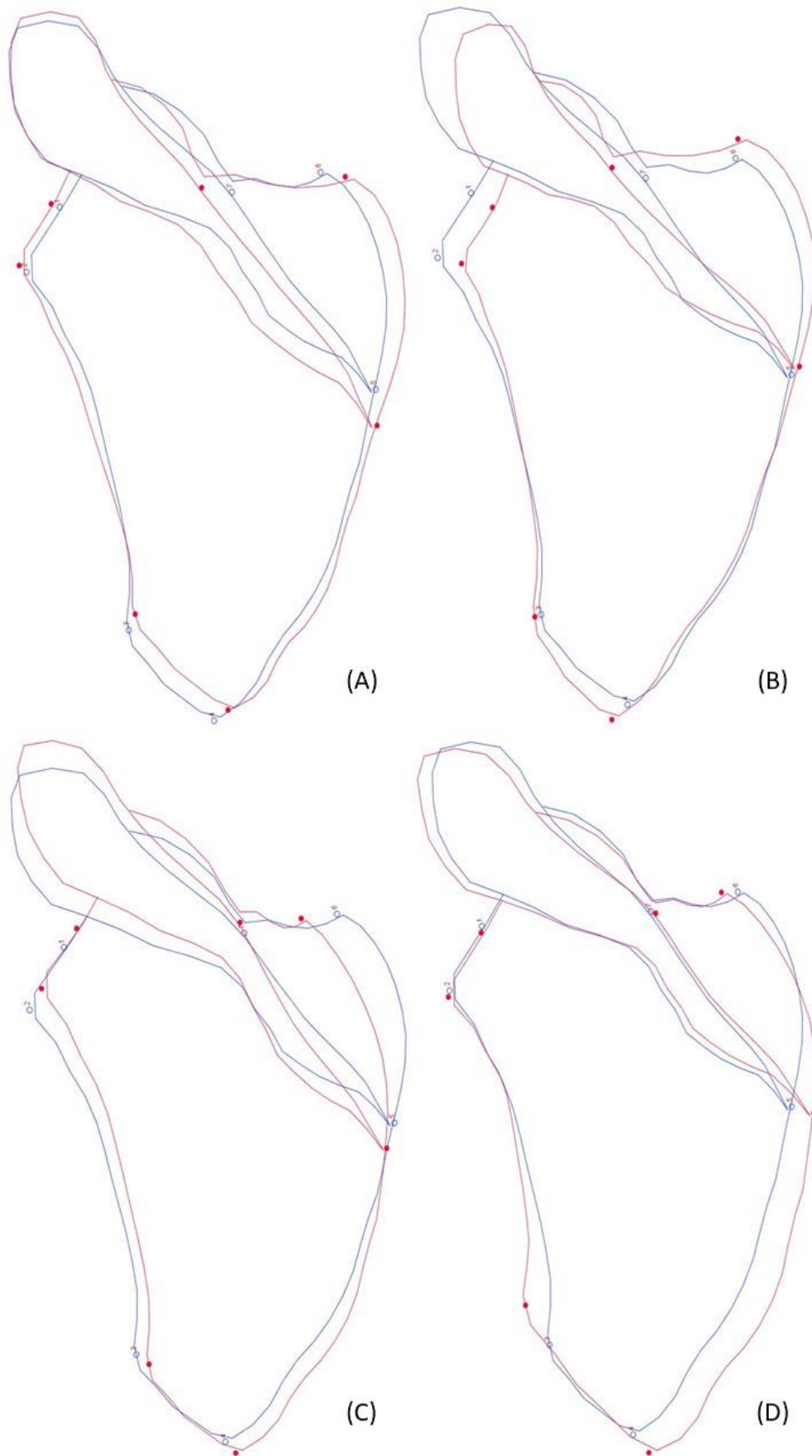


Figura 11 - Representação da variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D), a vermelho, comparando o *outline* (azul).

3. Resultados

Para se avaliar a distribuição dos indivíduos procedeu-se a uma CVA (*canonical variates analysis*). A CVA permite agrupar os espécimes que partilham uma característica específica. Com base nesse pressuposto verificamos que existem indivíduos de ambos os sexos que partilham essa característica, o que conduz a uma sobreposição no agrupamento de indivíduos com base no seu sexo e, conseqüente, a uma má classificação quanto ao mesmo. No histograma (Figura 12) que resulta da CVA mostra a distribuição dos indivíduos e a sua frequência em cada valor de CV (*canonical variate*), podemos observar a sobreposição dos indivíduos.

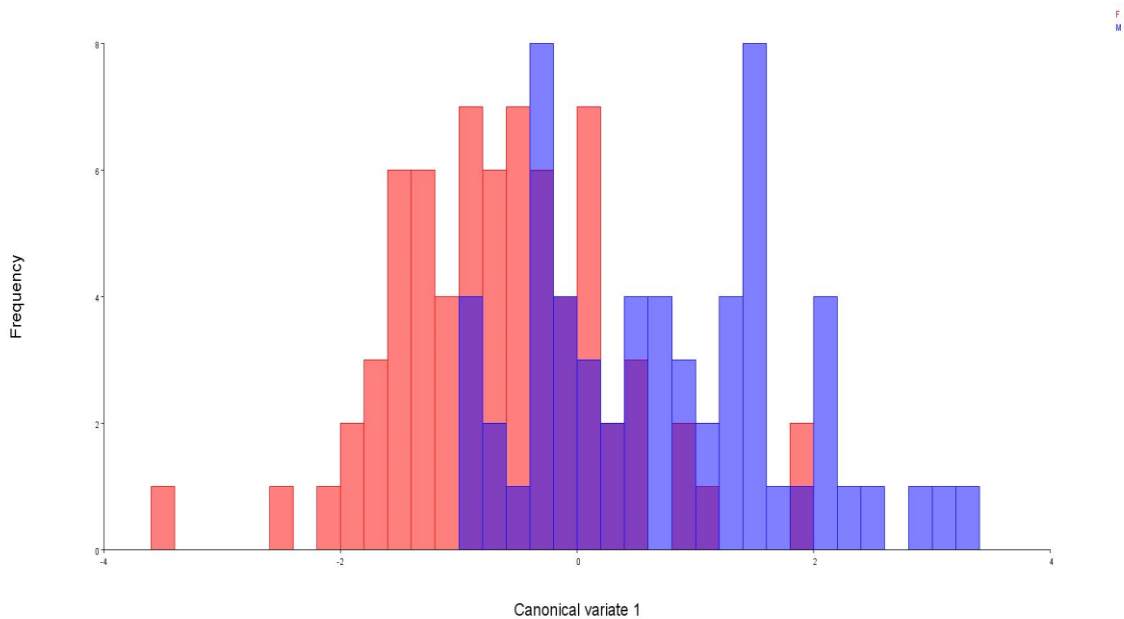


Figura 12 - Histograma com a distribuição dos indivíduos e a sua frequência consoante o valor de CV. A azul estão representados indivíduos do sexo masculino e a vermelho indivíduos do sexo feminino.

3. Resultados

Foi depois realizada uma análise discriminante para testar a exatidão com que um indivíduo pode ser categorizado como feminino ou masculino. A tabela 4 representa a exatidão obtida a partir da análise.

Na primeira análise obteve-se uma classificação correcta total de 77,10%, onde 58 de um total de 71 indivíduos do sexo feminino foram correctamente classificados (81,69%). Para os indivíduos do sexo masculino foram correctamente classificados 43 num total de 60 (71,67%).

A segunda análise foi realizada através de um método de validação cruzada (*jackknife*). Nesta análise observamos que a classificação correcta total baixa para 67,94%. De um total de 71 indivíduos do sexo feminino, 51 são bem classificados (71,83%), enquanto de 60 indivíduos do sexo masculino, 38 são classificados correctamente (63,33%).

Tabela 4 - Classificação dos indivíduos da CEI/XXI por grupo, resultante da análise discriminante.

Sexo	F	M	Total	Classificação correcta
F	58	13	71	81,69%
M	17	43	60	71,67%
Total	75	56	131	77,10%

Jackknifed

Sexo	F	M	Total	Classificação correcta
F	51	20	71	71,83%
M	22	38	60	63,33%
Total	73	58	131	67,94%

Legenda: F - Feminino; M - Masculino

3. Resultados

Por último foi testada a influência do tamanho na forma das escápulas. Essa análise foi feita recorrendo a uma regressão linear e os seus resultados estão expressos na tabela 5 e a sua representação gráfica na figura 13. Como podemos observar, a influência do tamanho na forma foi calculada em cerca de 0,81%, logo podemos afirmar que não ocorre alometria.

Tabela 5 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEI/XXI.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,80784838
Predicted SS:	0,00654001
Residual SS:	0,80130837
Relação tamanho-forma	
% predicted:	0,81%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

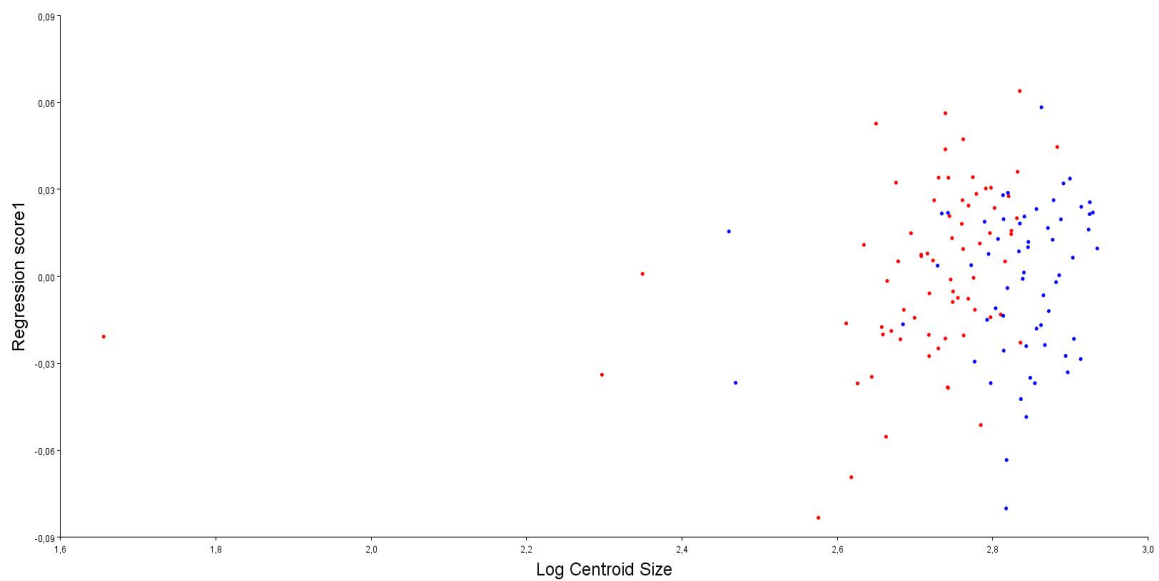


Figura 13 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI.

3.2.2. Coleção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra

O dimorfismo sexual foi avaliado através de uma Procrustes ANOVA, sendo possível observar diferenças significativas entre os sexos (Tabela 6). O tamanho do centróide tem maior influência no dimorfismo sexual que a forma da escápula e os indivíduos do sexo masculino são os que possuem o centróide com maior tamanho.

Tabela 6 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEIUC, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do Centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	75,696807	75,696807	1	103,96	<0,0001
Residual	56,796872	0,728165	78		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,01747978	0,001747978	10	3,47	0,0002
Residual	0,39242558	0,00050311	780		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - Sexo

O comprimento da escápula em indivíduos do sexo masculino é superior à dos indivíduos do sexo feminino. A margem lateral é mais encurvada para o sexo masculino que para o feminino. A escápula dos indivíduos do sexo feminino é mais larga na região dos pontos anatómicos 1 e 2, mais estreita no ponto anatómico 3 e não se projecta tanto na zona superior, dos pontos anatómicos 6 e 7, quando comparado com os indivíduos do sexo masculino.

A figura 14 é uma representação gráfica da superimposição de Procrustes.

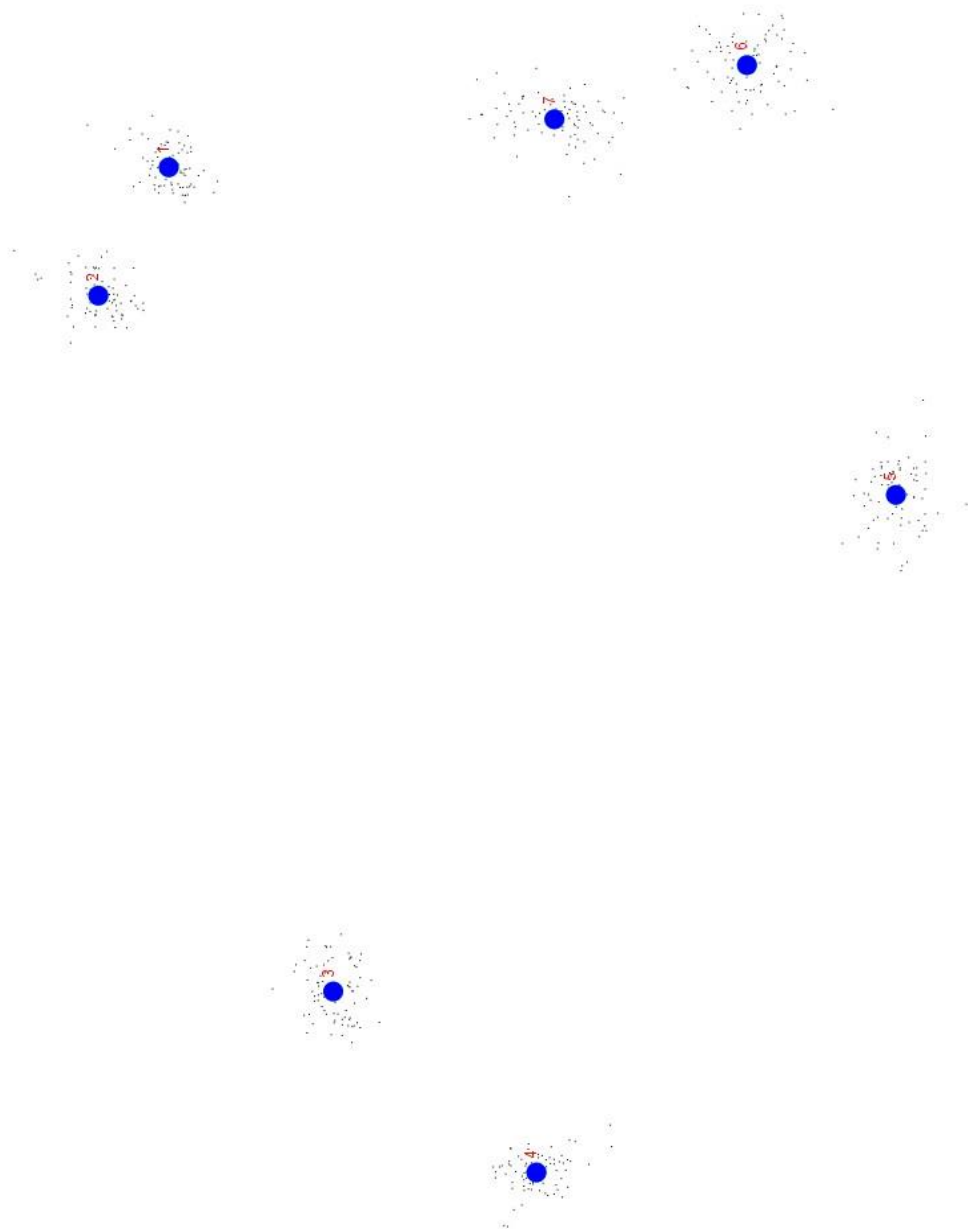


Figura 14 - Superimposição de Procrustes para os indivíduos da CEIUC. Os PA5 e 7 são os pontos onde existe maior variabilidade e os PA1, 2 e 3 onde existe menor.

Após a realização da PCA percebemos que os três primeiros PCs são responsáveis por 68,78% da variação total da forma: PC1 – 29,64%; PC2 – 23,33%; PC3 – 15,81% (Figura 15). Com base nesses resultados foi efectuado um gráfico de dispersão com os PC1 e PC2 (Figura 16), que nos permite discernir as diferenças significativas que existem entre o sexo feminino e masculino, bem como a sobreposição de alguns indivíduos dos dois sexos.

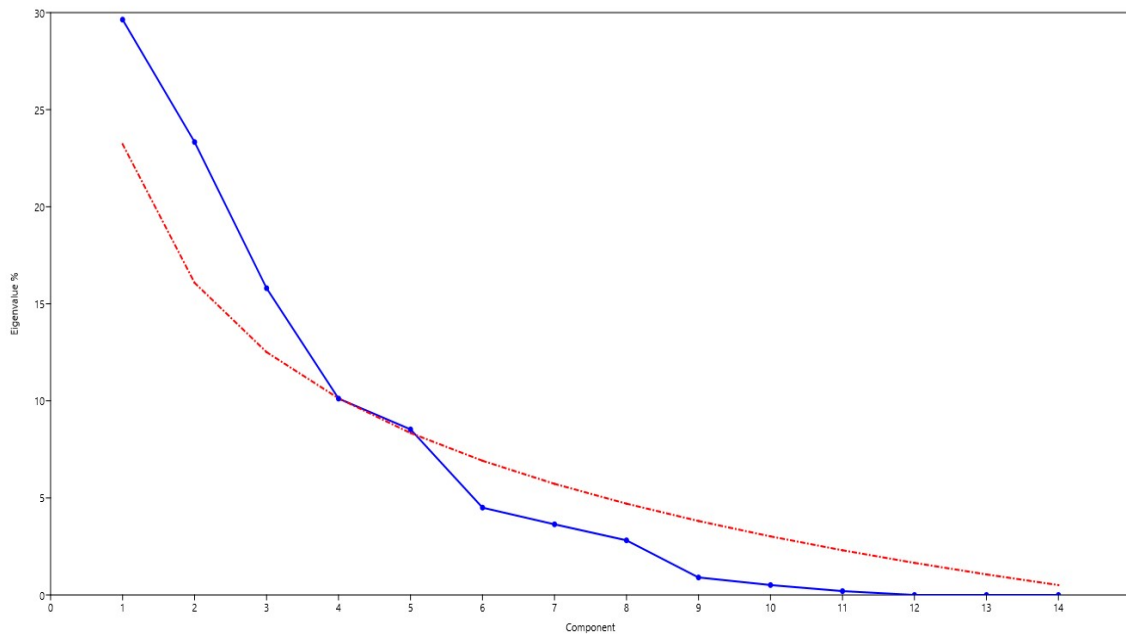


Figura 15 - Scree plot com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos da CEIUC. Os PC que mais influenciam a variação – PC1, PC2 e PC3 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (broken stick=pontilhado).

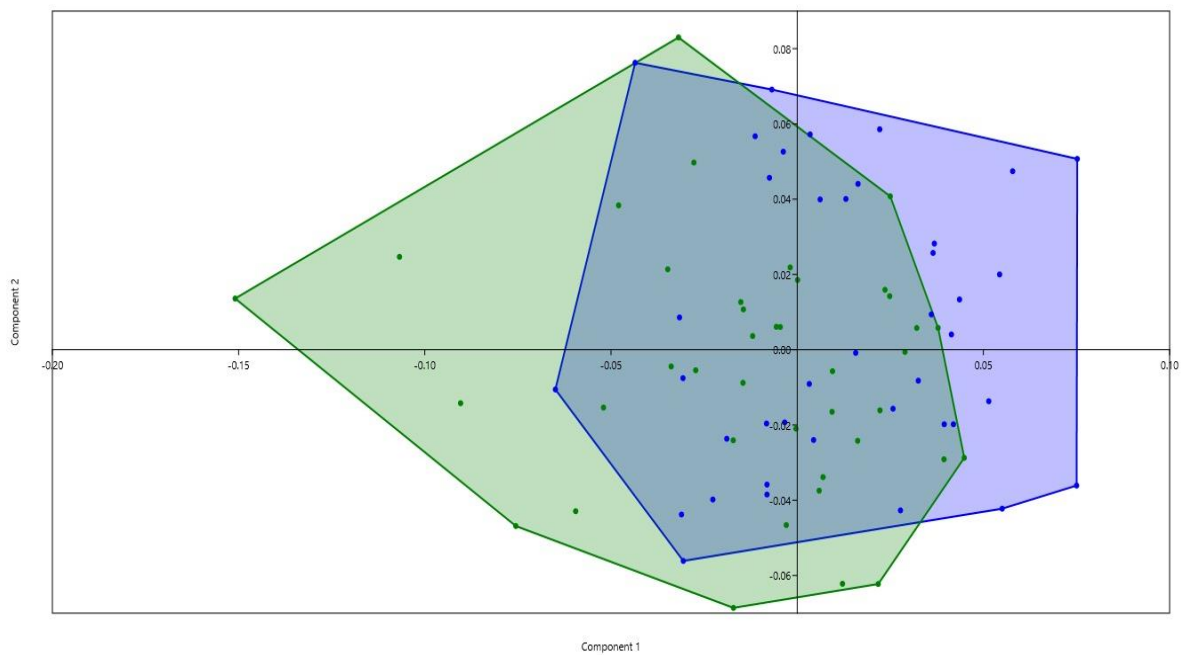


Figura 16 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a verde estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEIUC.

3. Resultados

Na figura 17 podemos observar as alterações na forma dos espécimes provocadas pelos PCs. O PC1 aumenta o comprimento dos espécimes, a largura diminui na região distal e na medial, até à zona da fossa supraespinhosa. O PC2, é responsável pelo alargamento da zona medial. Finalmente, o PC3 origina um alargamento na região distal e na zona da fossa supraespinhosa, sendo que na restante região medial ocorre uma diminuição da largura.

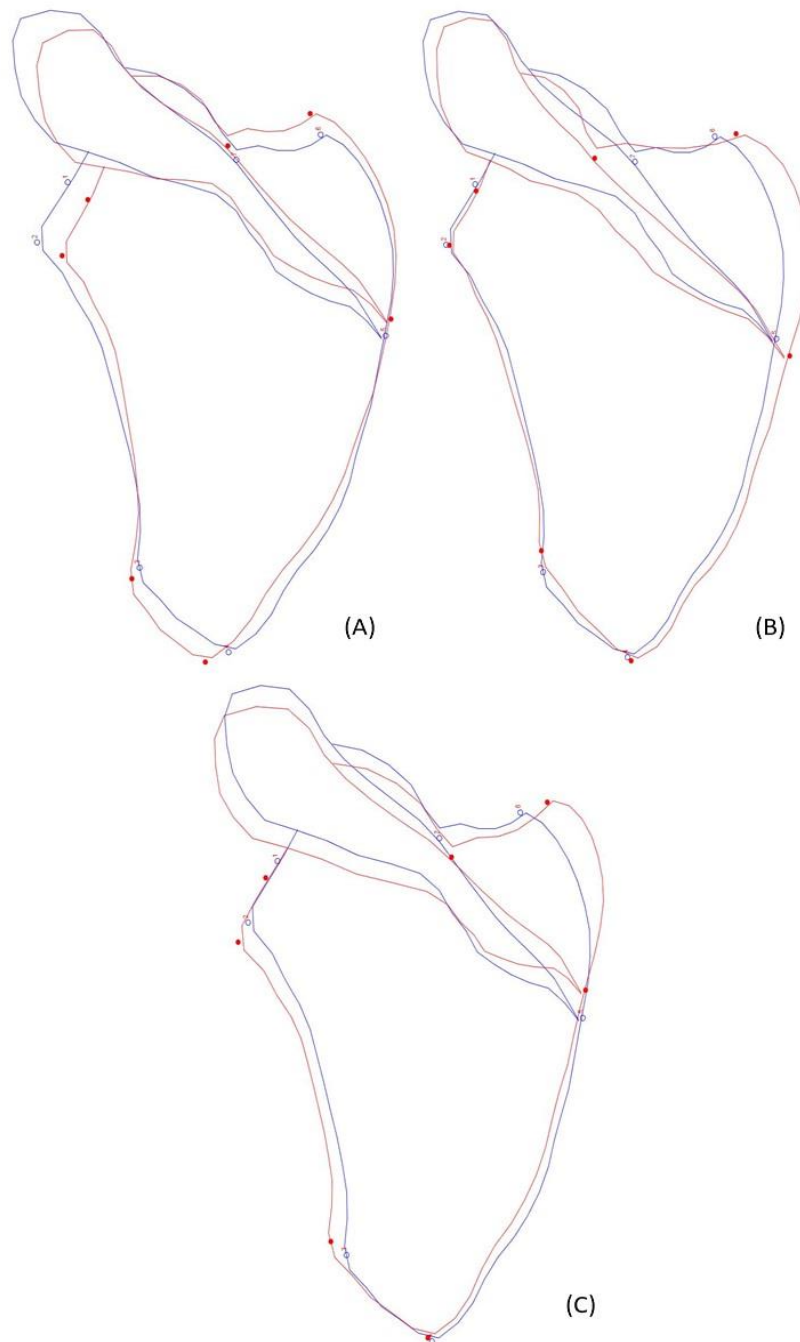


Figura 17 - Representação da variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B) e PC3 (C), a vermelho, comparando o *outline* (azul).

3. Resultados

De forma a verificarmos a ocorrência de alometria realizou-se uma regressão linear. Na tabela 7 estão apresentados os resultados da regressão e na figura 18 o seu gráfico. Como podemos averiguar o tamanho influência a forma em apenas 2,94%, ou seja, não se observa alometria.

Tabela 7 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEIUC.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,39242558
Predicted SS:	0,01155038
Residual SS:	0,3808752
Relação tamanho-forma	
% predicted:	2,94%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

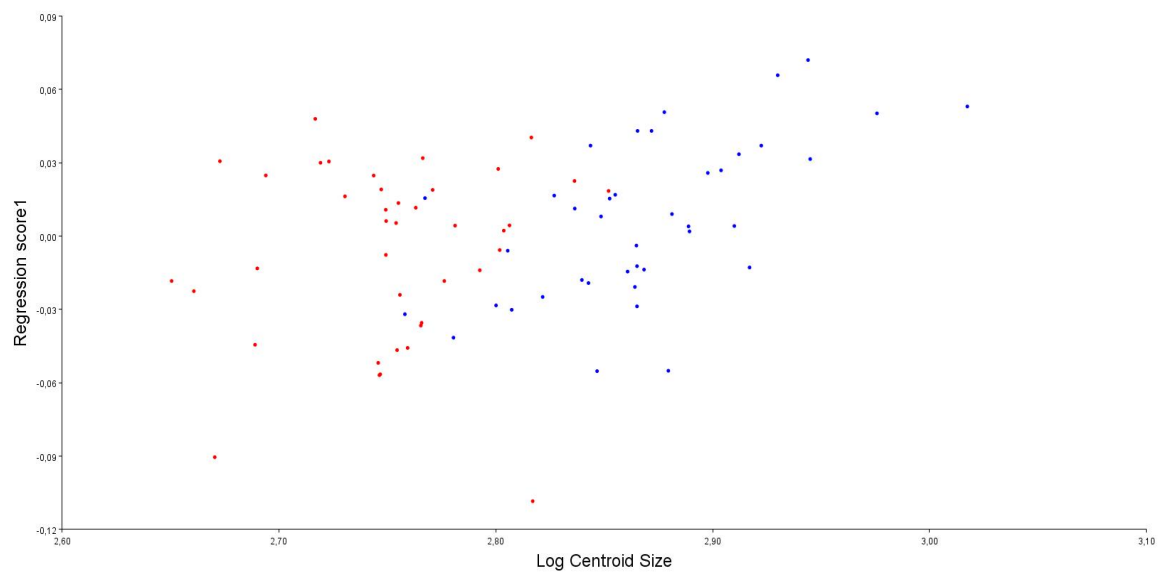


Figura 18 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEIUC.

3.2.3. Amostra Completa

Nesta análise foram avaliados todos os indivíduos da amostra, ou seja, as duas amostras foram analisadas em conjunto. A aplicação de uma Procrustes ANOVA permitiu-nos avaliar o dimorfismo sexual. Os resultados estão apresentados na tabela 8 e podemos inferir que existe dimorfismo sexual no tamanho do centróide e na forma da escápula.

Tabela 8 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos dos indivíduos da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	190,960227	190,960227	1	101,02	<0,0001
Residual	395,062558	1,890251	209		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,03074514	0,003074514	10	5,19	<0,0001
Residual	1,23812818	0,000592406	2090		

Legenda: SS - Soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - sexo

Existem diferenças entre os sexos, assim, na região da fossa glenóide a escápulas dos indivíduos femininos são mais largas que as dos indivíduos do sexo masculino. Na face lateral, no PA3, os indivíduos do sexo masculino alargam em relação aos indivíduos do sexo feminino, em que se verifica uma diminuição da largura. No ponto de intersecção da face medial com a espinha escapular (PA5) há um alargamento para os indivíduos do sexo masculino e um encolhimento para os do sexo feminino. No ângulo superior (PA6) ocorre uma diminuição do comprimento para os indivíduos do sexo feminino e um aumento para os do sexo masculino. As escápulas dos indivíduos do sexo masculino são maiores que as do sexo feminino.

A figura 19 representa a superimposição de Procrustes.

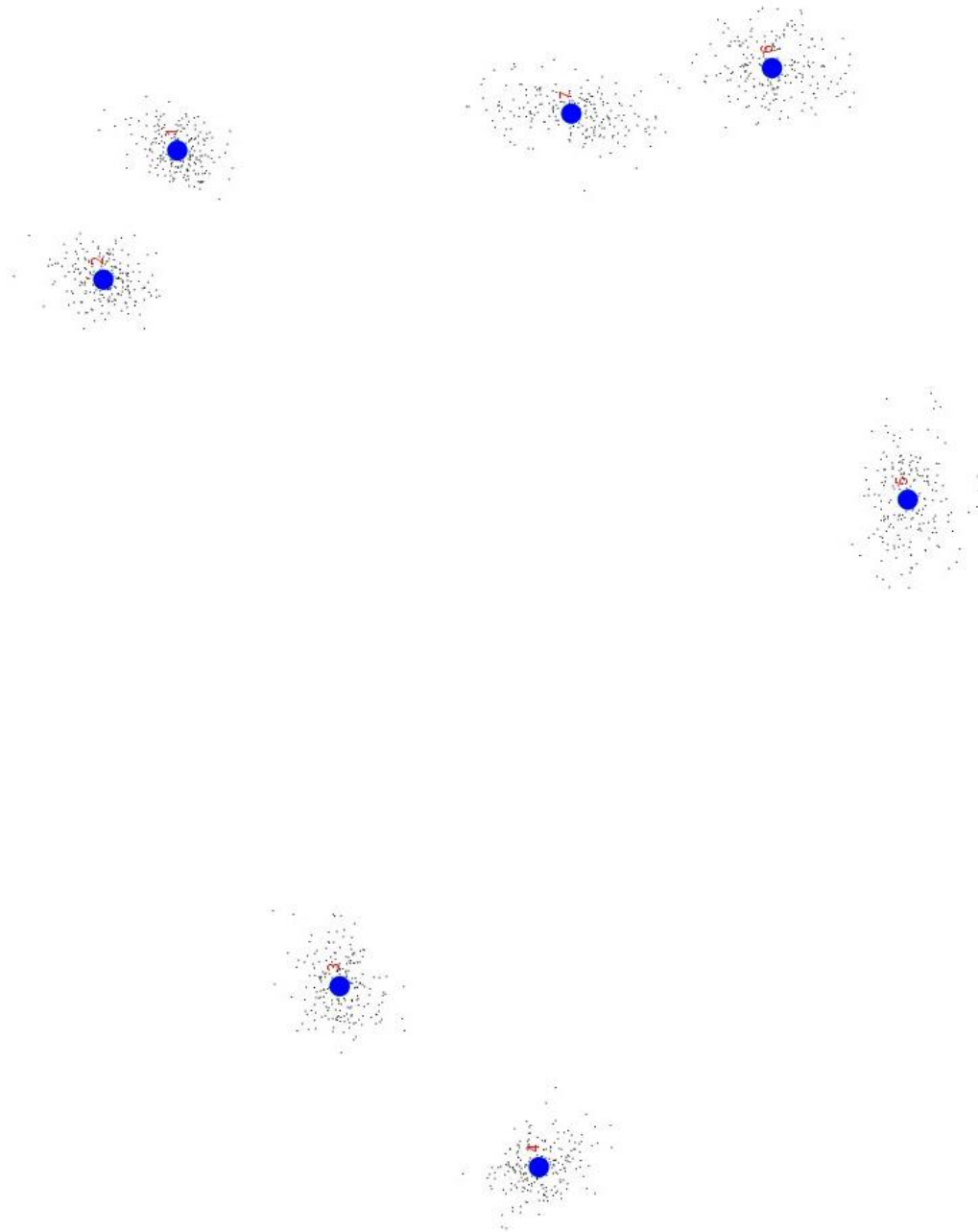


Figura 19 – Superimposição de Procrustes para os indivíduos das duas colecções. O PA2 apresenta uma menor variação enquanto os PA5 e PA7 apresentam uma maior variabilidade entre os indivíduos.

De forma a percebermos a variação da forma realizámos uma PCA. Os resultados da PCA indicam-nos quais os PCs que mais influenciam essa variação e os resultados foram: PC1 – 32,41%; PC2 – 23,23%; PC3 – 13,92%; PC4 – 10,33% (Figura 20). Estes PCs são responsáveis por 79,89% da variação total da forma. Os dois PCs mais influentes foram comparados recorrendo a um gráfico de dispersão (Figura 21) onde podemos observar que a existe alguma sobreposição e indivíduos de sexos opostos com formas muito aproximadas.

3. Resultados

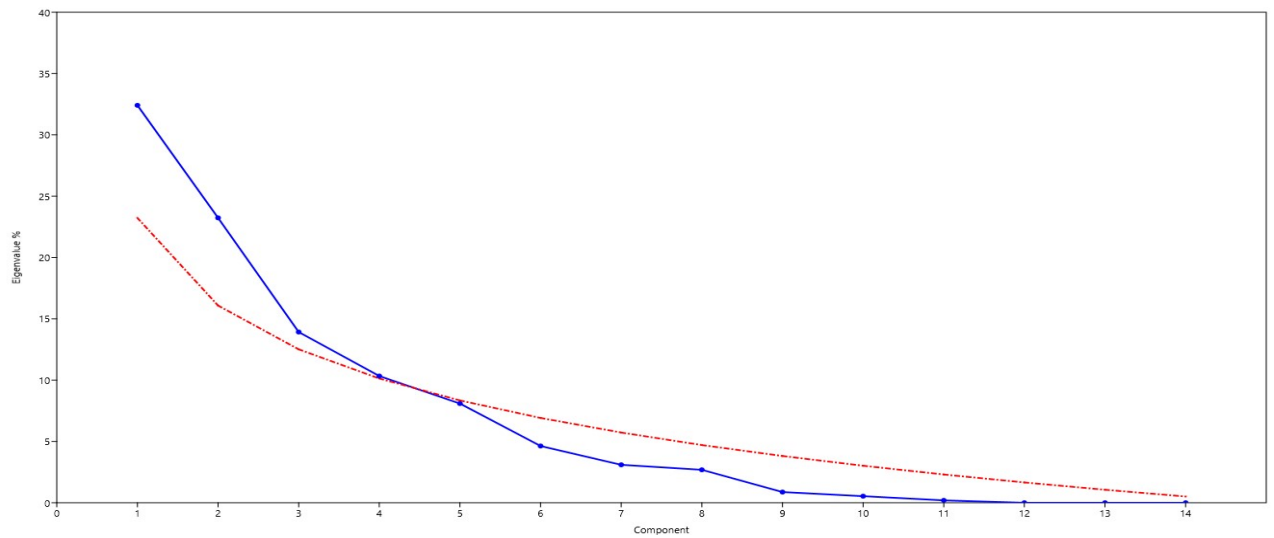


Figura 20 - Scree plot com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos CEIUC e CEI/XXI. Os PCs que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

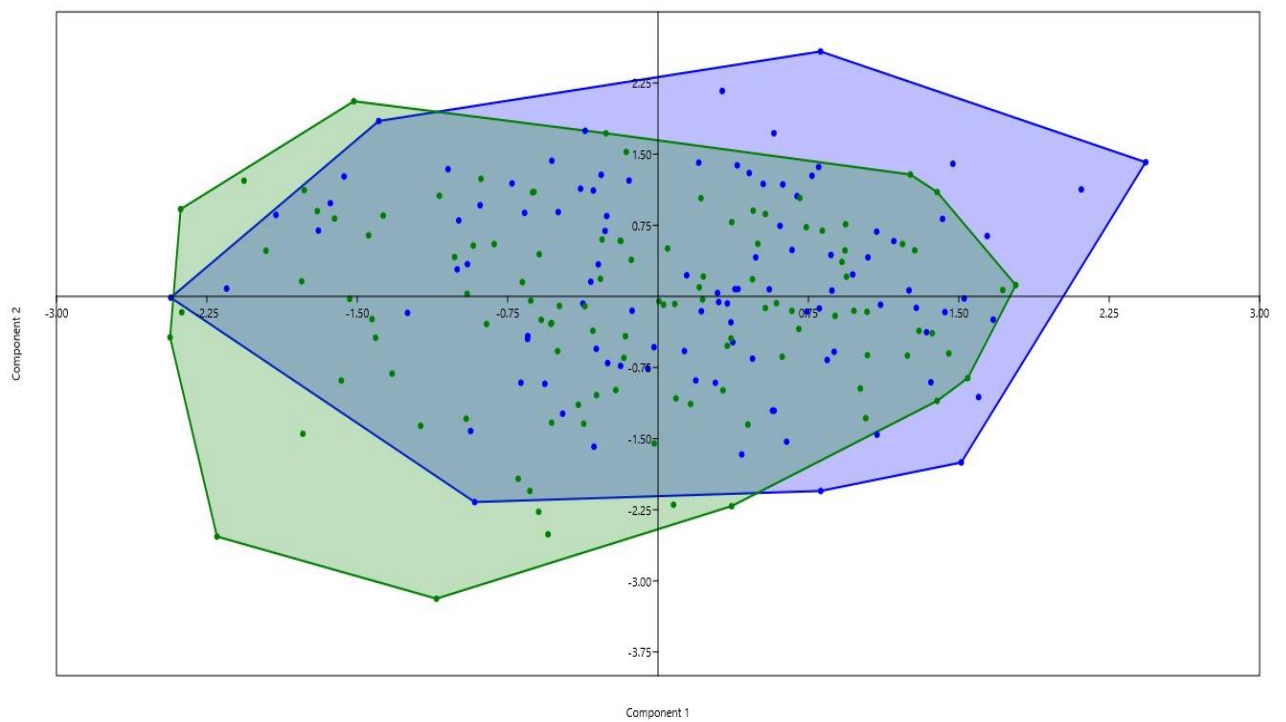


Figura 21 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a verde estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino.

3. Resultados

A figura 22 apresenta os efeitos de cada PC na variação da forma das escápulas. O PC1 está relacionado com um alargamento desde a fossa glenóidea até à parte mais inferior da face lateral, onde ocorre um estreitamento. Na face inferior há uma diminuição do comprimento. A face medial alarga em toda a sua extensão. A zona da face superior alarga, mas diminui o comprimento das escápulas. No PC2 temos uma diminuição da largura na fossa glenóidea. A face lateral começa estreita, mas alarga na sua zona inferior. Na face inferior observamos um aumento do comprimento das escápulas. A face medial começa a alargar a partir da sua zona média. Esse alargamento também se observa na face superior, onde também ocorre um aumento do comprimento escapular. O PC3 relaciona-se com um estreitamento em toda a face lateral. No ângulo inferior podemos observar um aumento do comprimento. A face medial começa com um alargamento até zona onde intersecta a espinha escapular, a partir daí estreita. Toda a face superior sofre uma diminuição da sua largura. O PC4 alarga a face medial na sua região mais inferior, onde ocorre um encolhimento. No ângulo superior podemos observar um aumento do comprimento escapular. A face medial alarga em quase toda a sua extensão, apenas na sua parte mais superior inicia um estreitamento, que afecta a região superior.

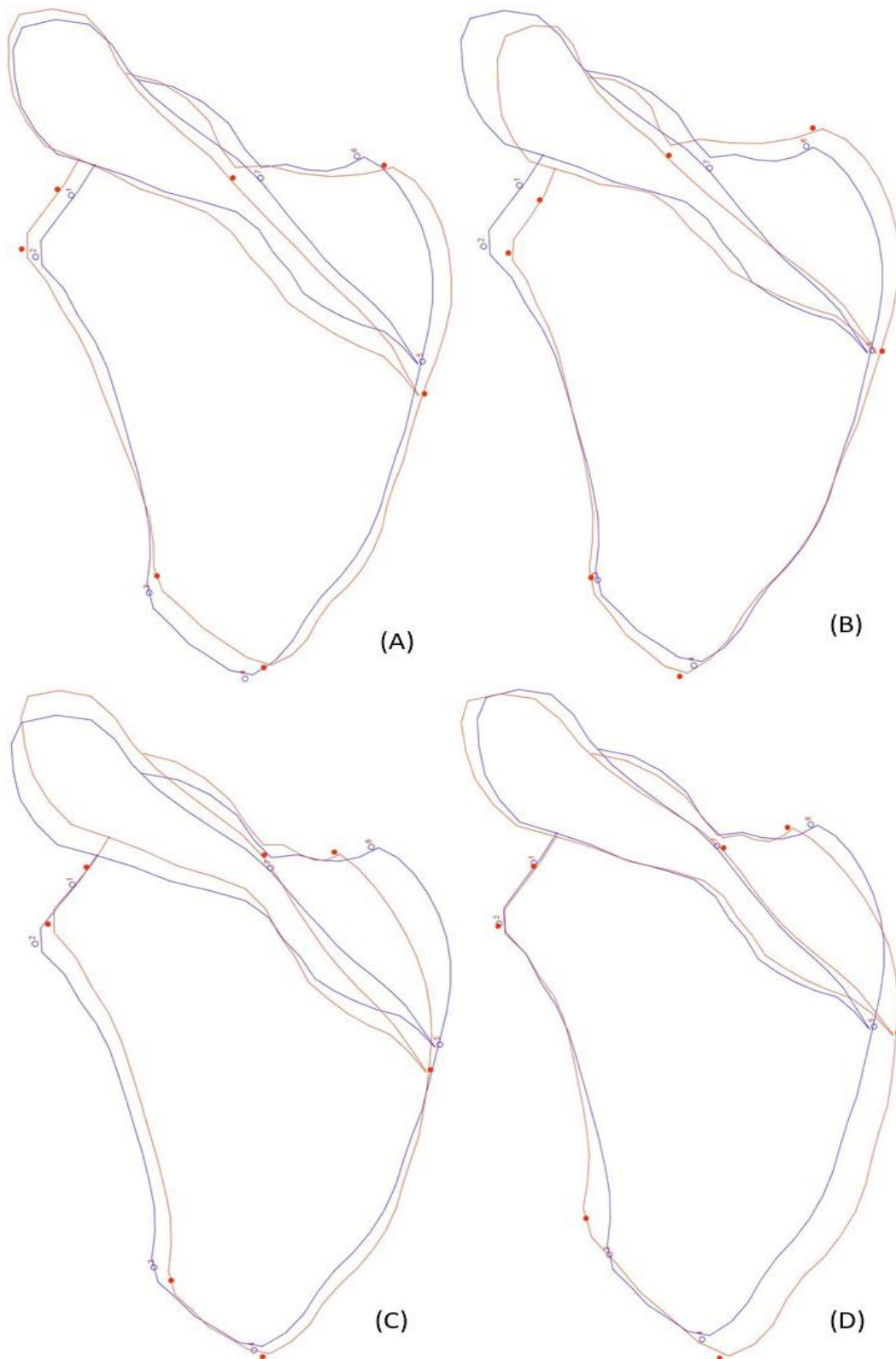


Figura 22 - Representação da variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D), a vermelho, comparando o *outline* (azul).

3. Resultados

Na CVA observamos que existem indivíduos de sexos diferentes que possuem uma mesma característica o que provocou que ficassem classificados erradamente. A figura 23 representa os resultados da CVA.

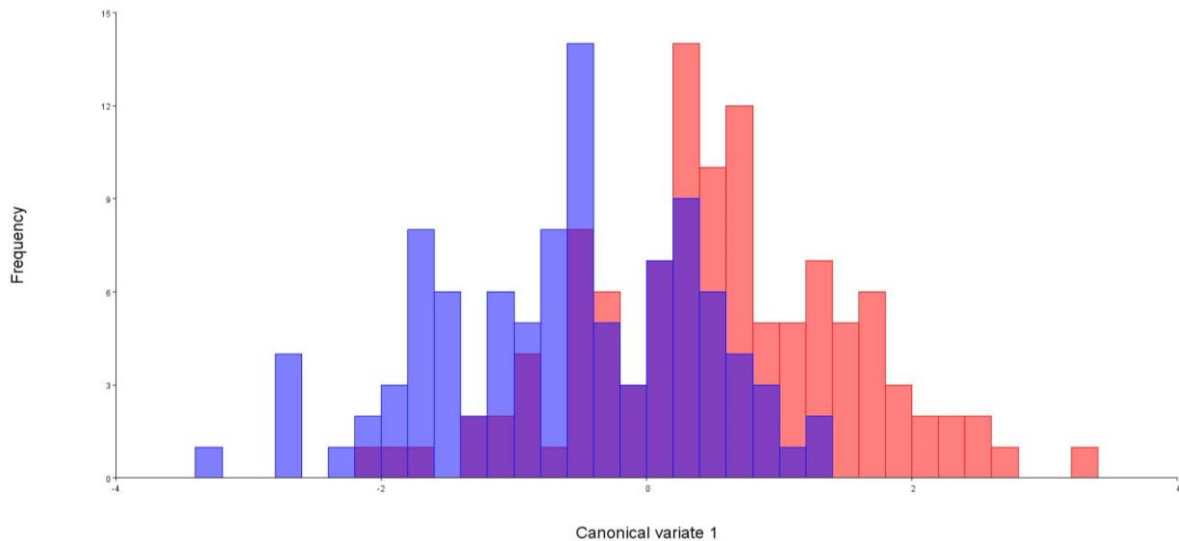


Figura 23 - Histograma com a distribuição dos indivíduos e a sua frequência consoante o valor de CV. A azul estão representados indivíduos do sexo masculino e a vermelho indivíduos do sexo feminino.

Após a CVA foi feita uma análise discriminante, que avalia a exactidão com que cada indivíduo é agrupado segundo o seu sexo. Os resultados estão apresentados na tabela 9.

A primeira análise classificou correctamente 72,04% dos indivíduos. Foram correctamente classificados 72 indivíduos do sexo masculino numa amostra de 100 indivíduos. No sexo feminino foram correctamente classificados 80 num total de 111 indivíduos.

A segunda análise conta com um método de validação cruzada (*jackknife*). A classificação correcta foi de 66,82%. Foram correctamente classificados 67 dos 100 indivíduos do sexo masculino. Para o sexo feminino foram correctamente classificados 74 num total de 111 indivíduos.

3. Resultados

Tabela 9 - Classificação dos indivíduos por grupo, resultante da análise discriminante.

	M	F	Total	Classificação correcta
M	72	28	100	72%
F	31	80	111	72,07%
Total	103	108	211	72,04%

Jackknifed

	M	F	Total	Classificação correcta
M	67	33	100	67%
F	37	74	111	66,67%
Total	104	107	211	66,82%

Legenda: M - masculino; F - feminino

De forma a avaliar a relação entre o tamanho do centróide e a forma foi feita uma regressão linear. Os resultados da regressão linear podem ser vistos na tabela 10 e está representada graficamente na figura 24. Analisando a tabela, o tamanho tem apenas 0,97% de influência na variação da forma, pelo que não é significativamente influente. Podemos concluir que não existe alometria.

Tabela 10 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos da amostra.

Soma dos quadrados	
Total SS:	1,23812818
Predicted SS:	0,01201809
Residual SS:	1,22611009

Relação tamanho-forma

% predicted:	0,97%
--------------	-------

Legenda: SS - soma dos quadrados

3. Resultados

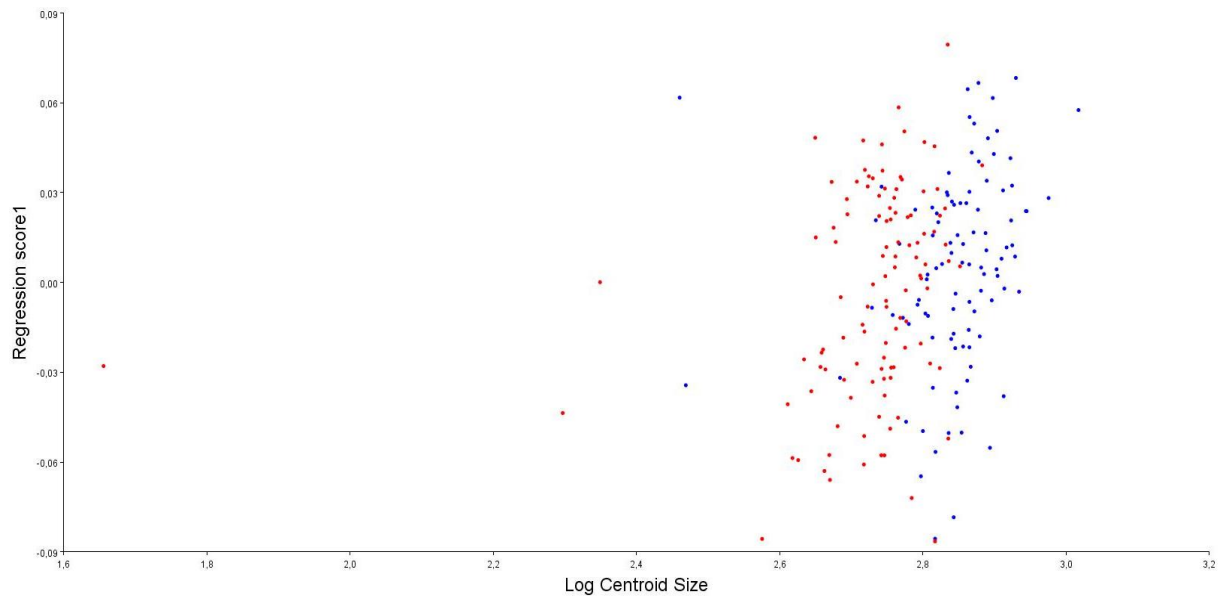


Figura 24 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino.

3.3. Comparação entre Colecções através de Pontos anatómicos

3.3.1. Sexo Feminino

Nesta análise testámos os indivíduos femininos pertencentes às duas colecções. Através da Procrustes ANOVA podemos avaliar potenciais diferenças entre os indivíduos das duas colecções e pertencentes ao mesmo sexo (Tabela 11). Como é observável na tabela, não se verificam diferenças significativas para o tamanho do centróide, pelo que o tamanho da escápula não sofreu alterações relevantes. Por outro lado, a forma apresenta diferenças entre os indivíduos do sexo feminino da CEIUC e da CEI/XXI. Podemos observar a descrição gráfica da superimposição de Procrustes (Figuras 25).

Tabela 11 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo feminino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	6,186875	6,186875	1	2,81	0,0965
Residual	239,907978	2,200991	109		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,01425634	0,001425634	10	2,42	0,0076
Residual	0,64262408	0,000589563	1090		

Legenda: SS – soma dos quadrados; MS – média da soma dos quadrados; Individual - Colecção

A margem medial e lateral dos indivíduos CEIUC é mais encurvada que nos indivíduos da CEI/XXI. A margem superior dos indivíduos da CEI/XXI aparenta ser mais larga quando comparada com a dos CEIUC. Também existem diferenças relativamente ao ângulo inferior, nos indivíduos da CEIUC aparenta ser mais agudo (mais estreito) enquanto nos indivíduos CEI/XXI parece ser mais largo.

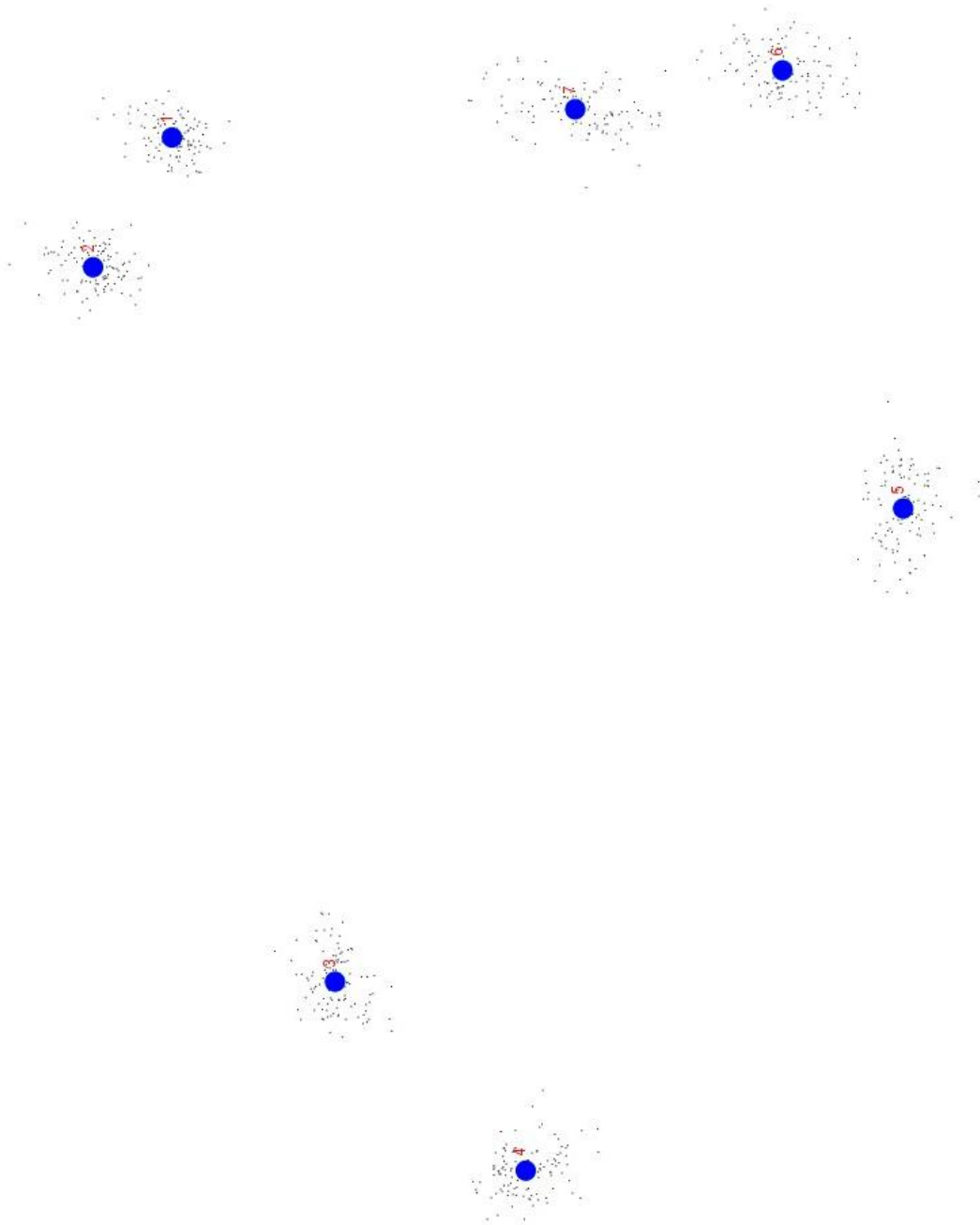


Figura 25 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos femininos. Os PA1 e 2 são os que se apresentam com menor variabilidade, enquanto os PA5 e 7 têm maior variação.

Aplicando-se a PCA obtivemos como mais influenciadores da variação total da forma (82,90%) os seguintes PCs: PC1 – 34,33%; PC2 – 24,19%; PC3 – 13,31%; PC4 – 11,07% (Figura 26). Baseado nesses resultados foi realizado um gráfico de dispersão comparado os PC1 e PC2 (Figura 27). Este gráfico permite observar as diferenças entre as colecções.

3. Resultados

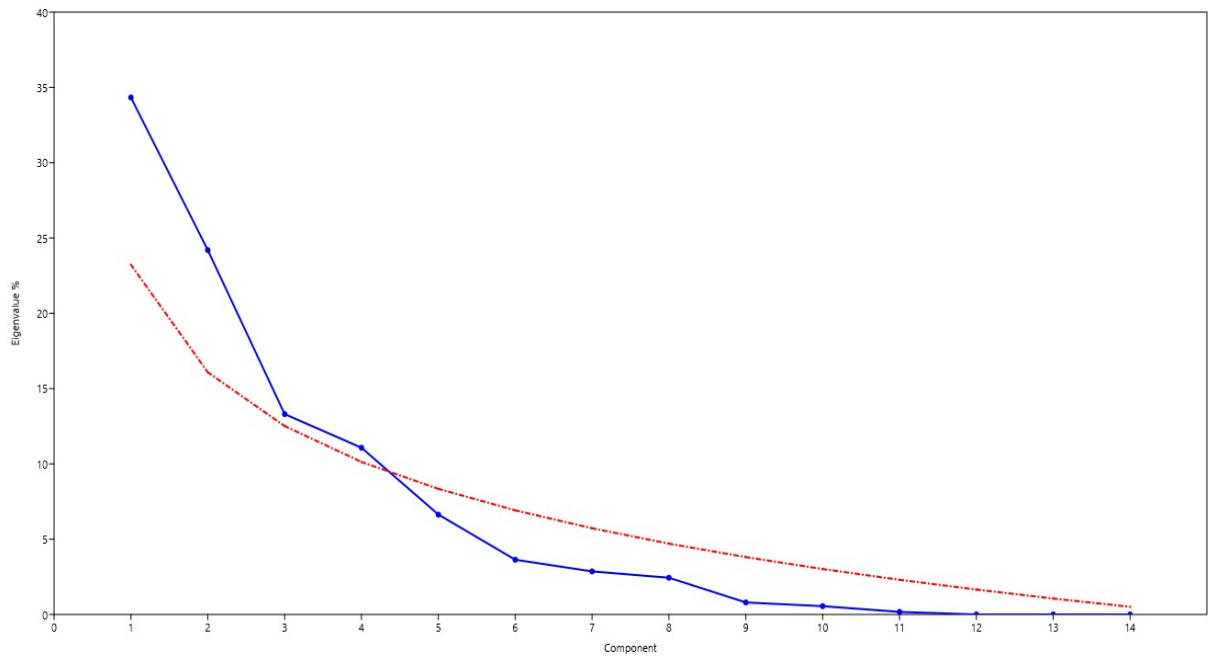


Figura 26 - *Scree plot* com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos femininos da CEIUC e CEI/XXI. Os PCs que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 – são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

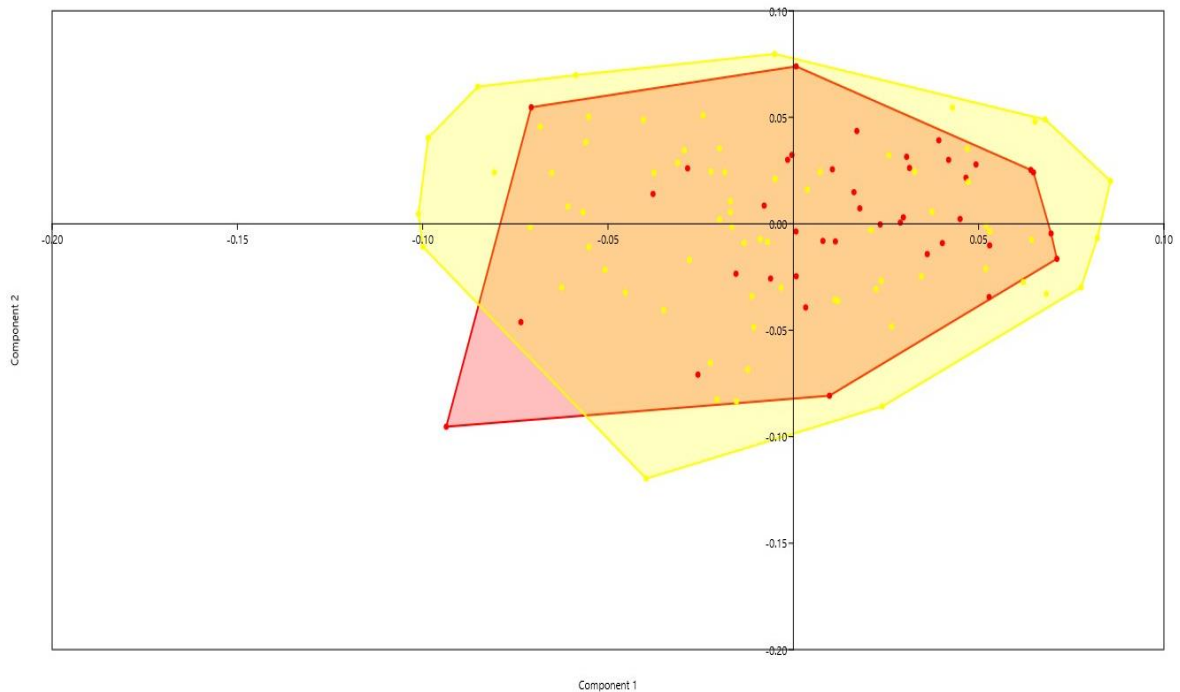


Figura 27 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino da CEIUC e a amarelo os indivíduos do sexo feminino da CEI/XXI.

3. Resultados

Na figura 28 estão representadas graficamente as alterações de forma da escápula derivadas dos PCs. O PC1 representa uma diminuição do comprimento dos espécimes, mas aumenta a largura dos mesmos nas regiões medial e distal. No PC2 podemos observar um aumento do comprimento dos espécimes e da sua largura na região medial, mais precisamente na zona da fossa supraespinhosa, enquanto na região distal podemos observar um estreitamento. Por sua vez, o PC3 podemos observar o aumento da largura dos espécimes nas zonas distal e medial. Por fim, no PC4 temos um aumento do comprimento, um aumento da largura na região mais inferior da zona distal, na região medial observamos um aumento da largura em toda a sua extensão excepto na fossa supraespinhosa e na região superior ocorre um estreitamento.

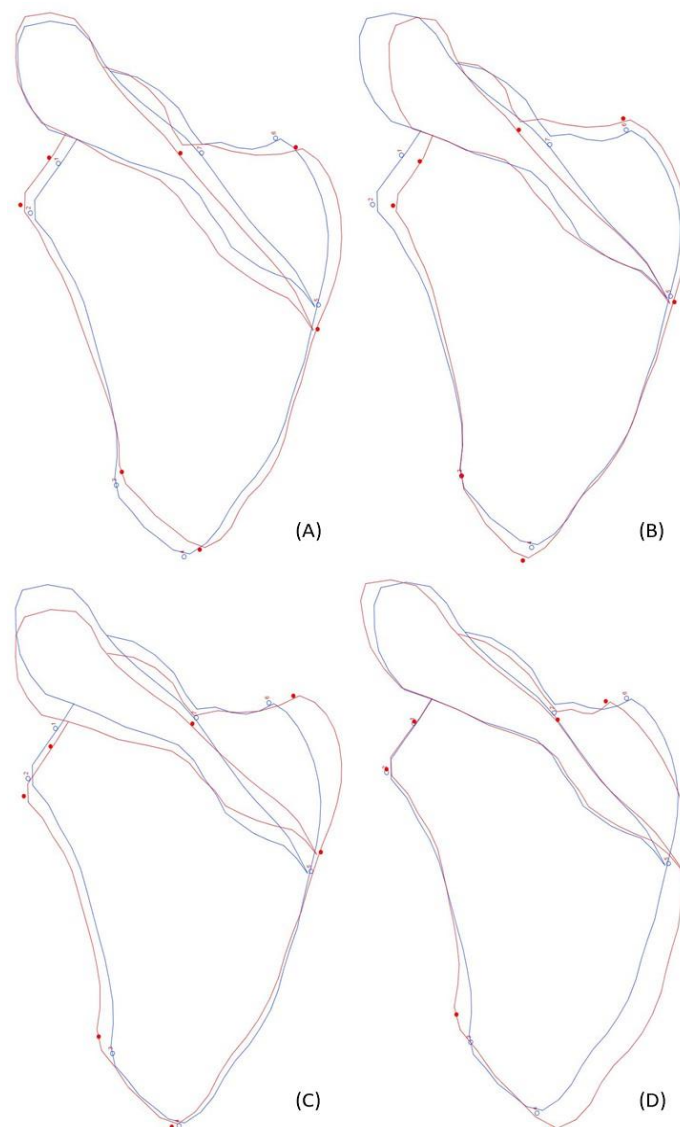


Figura 28 - Representação da variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D), a vermelho, comparando o *outline* (azul).

3. Resultados

Como última análise foi feita uma regressão linear de forma a avaliar se o tamanho afecta a forma das escápulas. A tabela 12 apresenta os resultados e a figura 29 é uma representação gráfica da regressão. Analisando a tabela podemos concluir que não existe alometria pois o tamanho tem, apenas, uma influência de 1,14% na forma das escápulas.

Tabela 12 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos do sexo feminino da CEIUC e CEI/XXI.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,64262408
Predicted SS:	0,00731703
Residual SS:	0,63530705
Relação tamanho-forma	
% predicted:	1,14%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

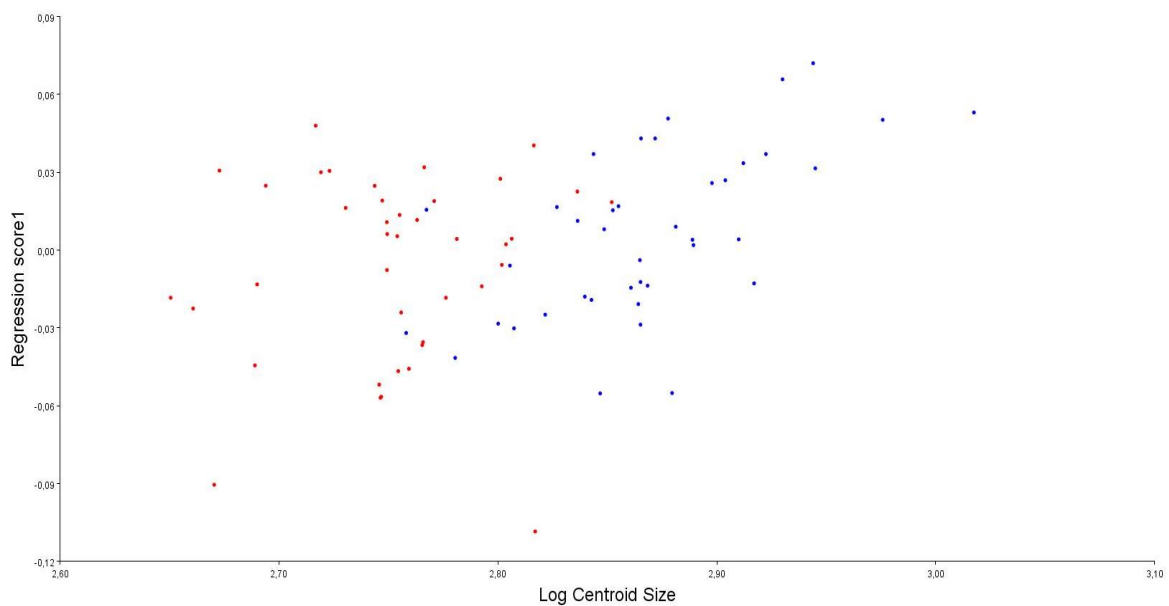


Figura 29 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino da CEI/XXI e a azul os indivíduos da CEIUC.

3.3.2. Sexo masculino

Nesta análise testámos todos os indivíduos do sexo masculino das duas colecções. A tabela 13 representa os resultados da aplicação da Procrustes ANOVA. Como é possível verificar, existem diferenças significativas entre os indivíduos masculinos das duas colecções para os dois parâmetros em análise, tamanho do centróide e forma.

Tabela 13 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo masculino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do Centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	8,390224	8,390224	1	5,85	0,0174
Residual	140,577483	1,434464	98		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,02360341	0,002360341	10	4,14	<0,0001
Residual	0,55808035	0,00056947	980		

Legenda: SS – soma dos quadrados; MS – média da soma dos quadrados; Individual – Colecção

Quando comparados, os indivíduos da CEI/XXI possuem escápulas mais largas que os da CEIUC. Em contrapartida, as escápulas dos indivíduos da CEIUC são mais compridas. O ângulo inferior (PA4) é mais agudo nos indivíduos da CEIUC e o ângulo superior está mais projectado que nos indivíduos da CEI/XXI. Podemos afirmar que os indivíduos da CEIUC apresentam as escápulas maiores.

A superimposição de Procrustes está exposta graficamente na figura 30.

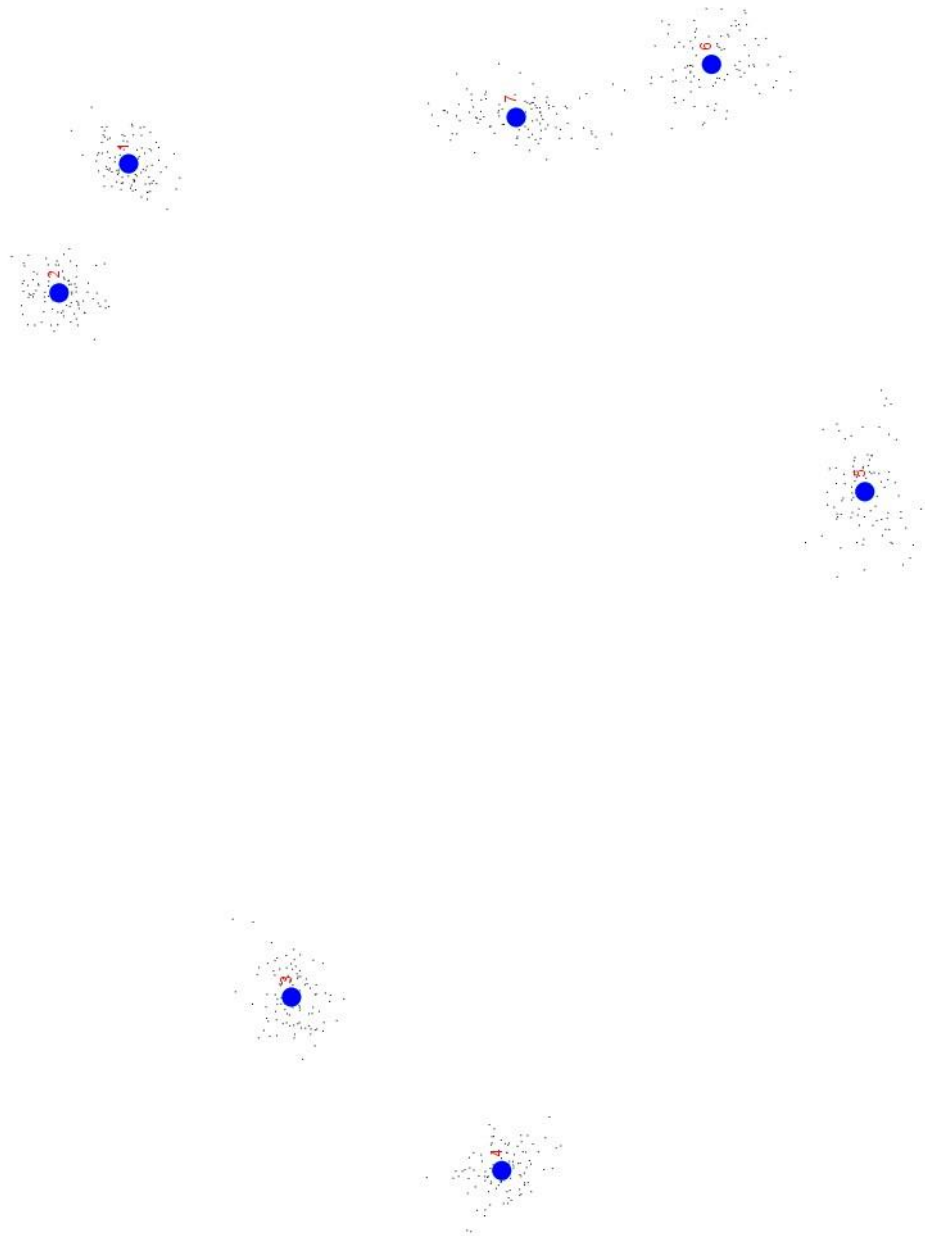


Figura 30 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos masculinos. O PA1 é o que apresenta menor variabilidade, enquanto os PA5 e 7 apresentam maior variação.

De forma a perceberem-se quais os PCs que mais influência têm na variação utilizou-se uma PCA. Os resultados foram: PC1 – 31,16%; PC2 – 24,17%; PC3 – 13,19%; PC4 – 10,58%; PC5 – 9,63% (Figura 31), estes PCs são responsáveis por 88,79% da variação total da forma. Baseado nestes resultados, fez-se um gráfico de dispersão onde se comparam os dois PC com mais influência (Figura 32). Através da análise do gráfico de dispersão observamos que existem indivíduos totalmente diferentes entre as duas colecções, bem como que alguma sobreposição entre ambas.

3. Resultados

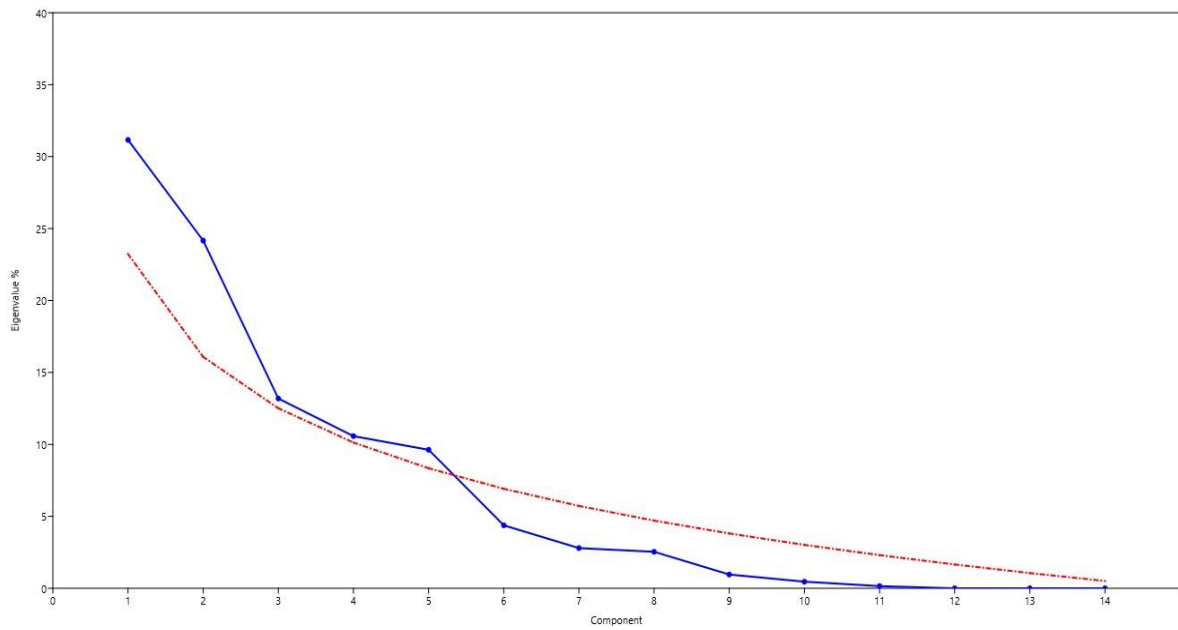


Figura 31 - *Scree plot* com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos masculinos da CEIUC e CEI/XXI. Os PCs que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3, PC4 e PC5 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

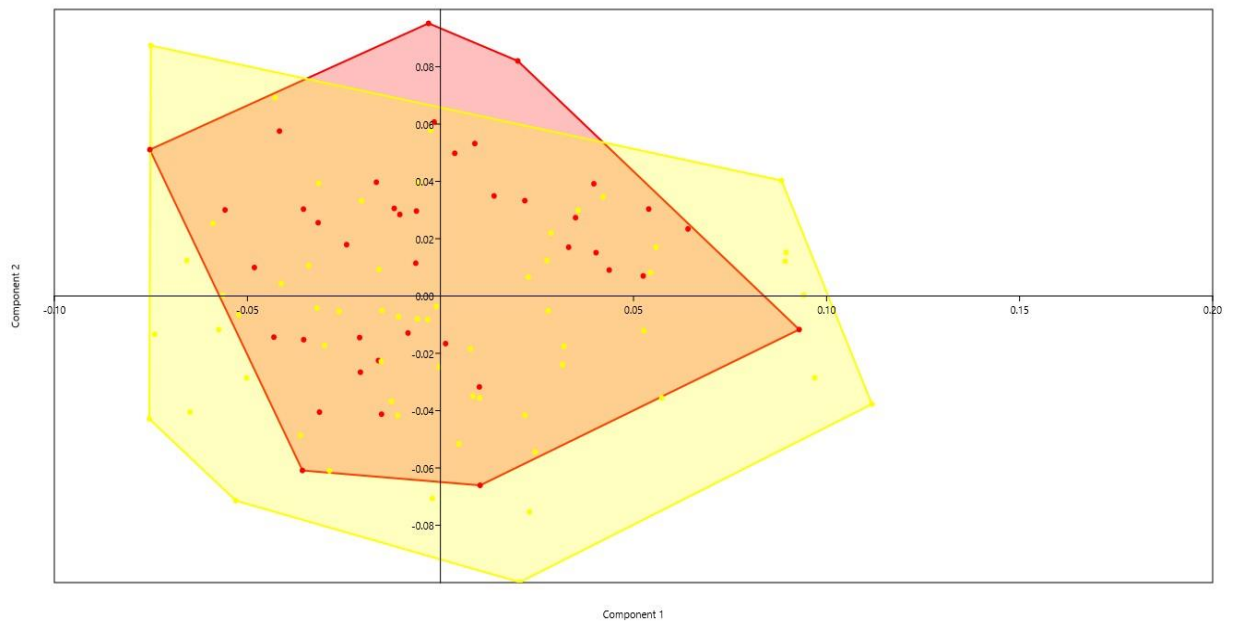


Figura 32 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a vermelho estão representados os indivíduos do sexo masculino da CEIUC e a amarelo os indivíduos do sexo feminino da CEIXXI.

3. Resultados

Na figura 33 podemos observar os efeitos que os PCs têm na forma da escápula. O PC1 representa uma diminuição do comprimento dos espécimes e, ao mesmo tempo, um alargamento na zona medial da escápula e, de forma mais ligeira, também na zona lateral. O PC2 apresenta um aumento do comprimento dos espécimes, uma diminuição da largura na região da cavidade glenóidea e na região medial até ao início da fossa supraespinhosa, onde ocorre um alargamento. Através da análise do PC3 podemos observar um ligeiro aumento do comprimento da escápula e do seu alargamento na região medial, até ao início da fossa supraespinhosa, onde ocorre um ligeiro estreitamento, na região lateral também é observável um estreitamento em toda a sua extensão. No PC4 podemos observar um ligeiro alargamento na região lateral e na região medial até à fossa supraespinhosa, um ligeiro aumento de comprimento da escápula e uma diminuição da largura na face medial acima da fossa supraespinhosa. O PC5 apresenta uma diminuição do comprimento da escápula, excepto na zona do ângulo superior, onde também se observa um ligeiro alargamento, nas zonas medial e lateral podemos observar a um estreitamento dos espécimes.

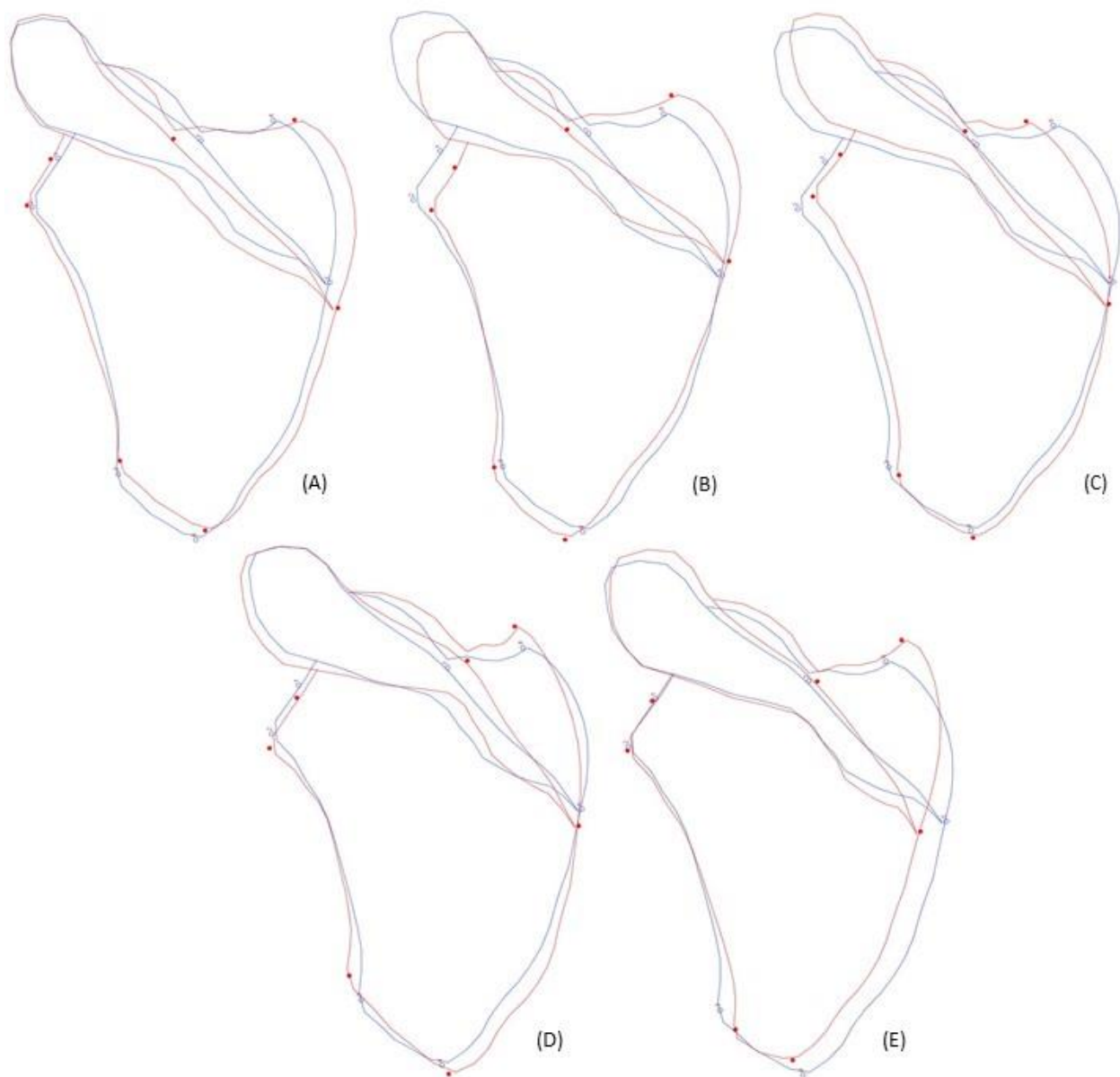


Figura 33 - Representação da variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C), PC4 (D) e PC5 (E), a vermelho, comparando o *outline* (azul).

3. Resultados

Por último, foi realizada uma regressão linear de forma a percebermos se o tamanho tem alguma relação com a forma das escápulas. Os resultados são apresentados na tabela 14 e estão expostos graficamente na figura 34. Analisando os resultados da tabela inferimos que o tamanho influencia a variabilidade da forma em apenas 1,36%, logo não existe alometria.

Tabela 14 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos do sexo masculino da CEIUC e CEI/XXI.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,55808035
Predicted SS:	0,00761439
Residual SS:	0,55046595
Relação tamanho-forma	
% predicted:	1,36%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

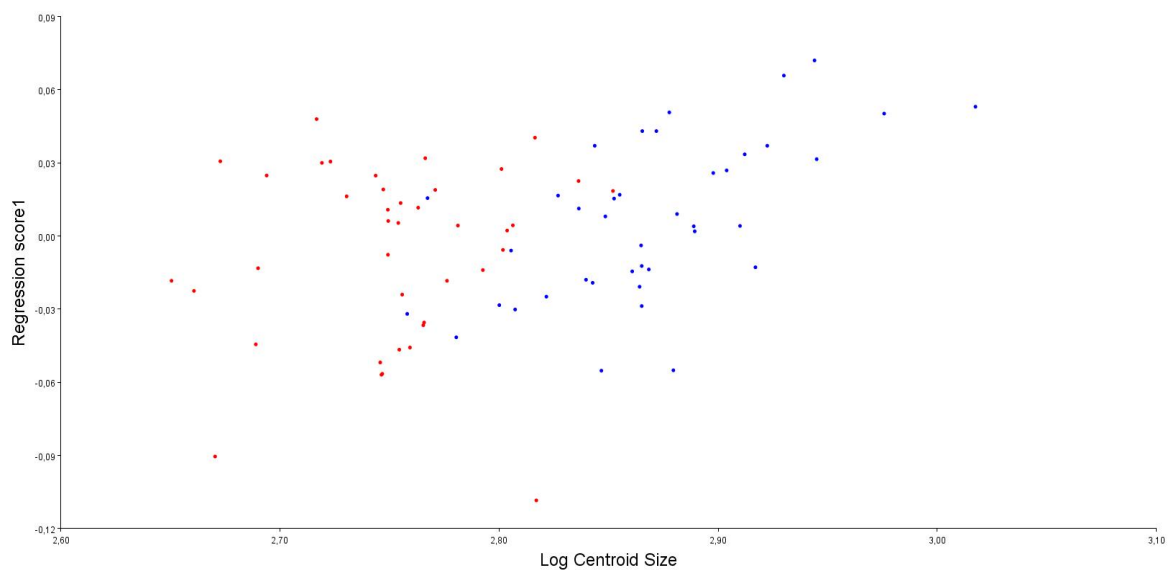


Figura 34 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI e a azul os indivíduos da CEIUC.

3.4. Análise de dimorfismo sexual através de *Semilandmarks*

3.4.1. Coleção de Esqueletos Identificados Século XXI

Para avaliar o dimorfismo sexual foi aplicada uma Procrustes ANOVA, o que nos permitiu observar a existência de diferenças significativas entre ambos os sexos (Tabela 15). Analisando a tabela 16, podemos inferir que o tamanho do centróide tem maior influência no dimorfismo sexual que a forma das escápulas. Os indivíduos do sexo masculino apresentam o maior tamanho do centróide.

Tabela 15 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do Centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	384,598059	384,598059	1	35,33	<0,0001
Residual	1404,396813	10,886797	129		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,00815138	0,000107255	76	1,43	0,0106
Residual	0,73546087	7,50164E-05	9804		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - Sexo

As escápulas dos indivíduos do sexo feminino são mais largas na região da cavidade glenóide. Na parte inferior da margem lateral alarga para indivíduos do sexo masculino e estreita para indivíduos do sexo feminino. Na zona do ângulo inferior, as escápulas são mais afuniladas para os indivíduos do sexo feminino, enquanto nos do sexo masculino apresentam um ângulo mais obtuso. Esta condição leva a que as escápulas dos indivíduos do sexo feminino sejam ligeiramente mais compridas, nesta região, que a dos indivíduos do sexo masculino. Na margem medial as escápulas dos indivíduos do sexo masculino são mais largas, em especial na região inferior. Na região do ângulo superior também existem diferenças, o que leva a que as escápulas dos indivíduos do sexo masculino sejam mais compridas que as dos indivíduos do sexo feminino. A figura 35 serve para exemplificar uma grelha de transformação com o resultado da Procrustes ANOVA, neste caso para os indivíduos do sexo feminino da CEI/XXI.

A figura 36 representa graficamente a Procrustes ANOVA.

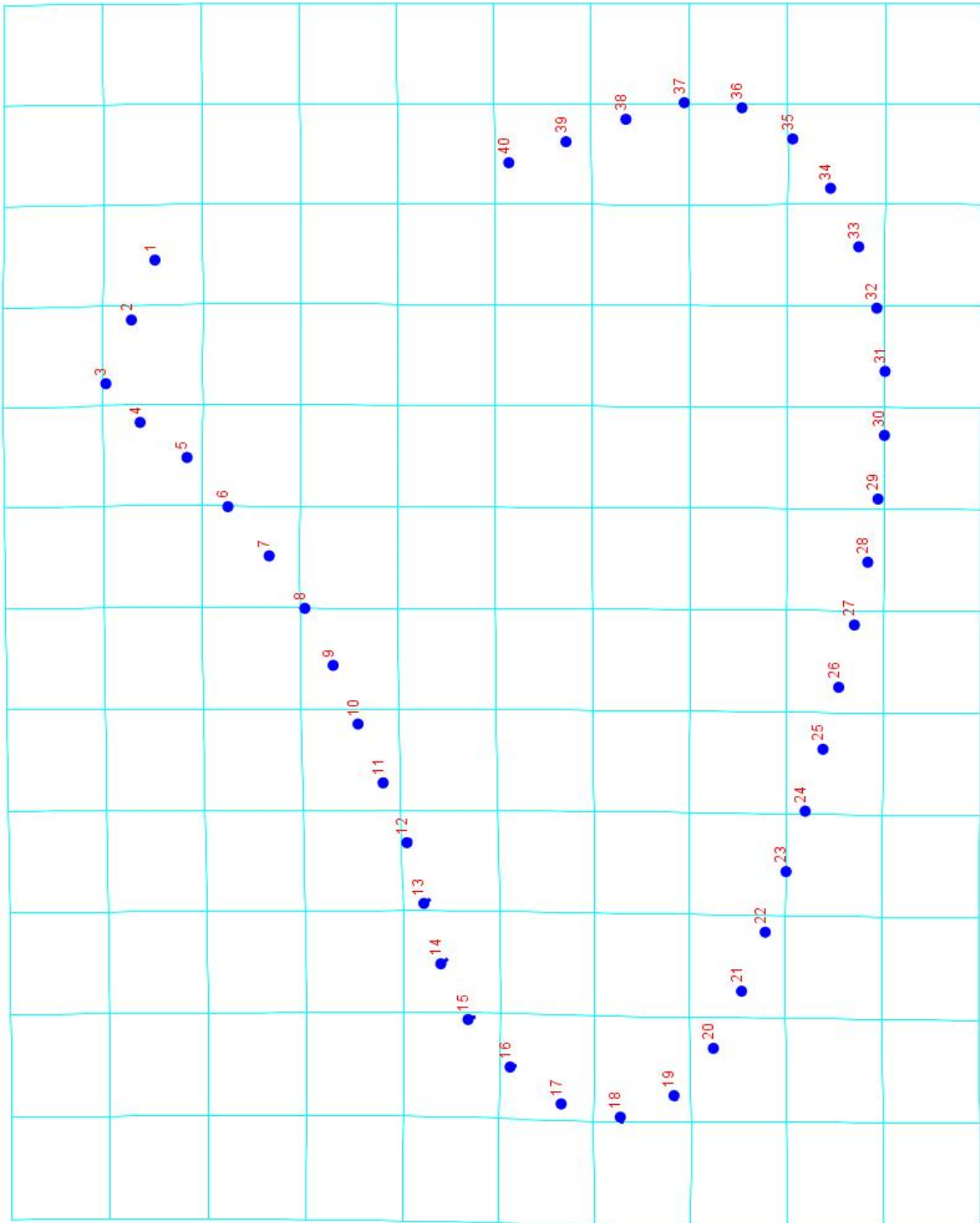


Figura 35 - Grelha de transformação com o consenso dos pontos anatómicos para o sexo feminino da CEI/XXI.

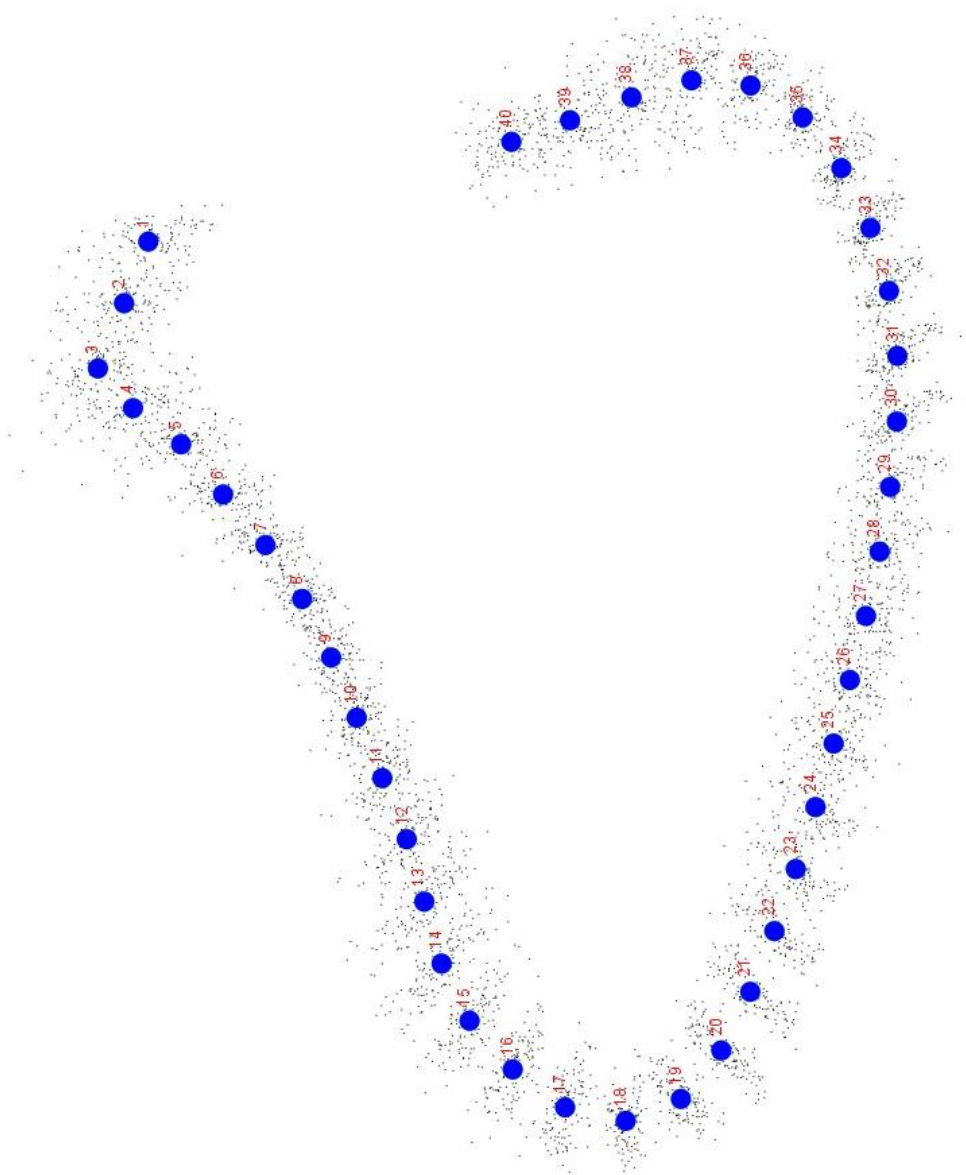


Figura 36 — Superimposição de Procrustes dos indivíduos da CEI/XXI. Observando a imagem podemos inferir que na face lateral, nos pontos 6 a 10 é onde ocorre menor variação na forma. Pelo contrário, nos pontos 1 a 3 e na região do ângulo inferior é onde se observa maior variabilidade.

Com a realização de um PCA percebemos que os quatro primeiros PCs têm uma influência de 87,96% na variação da forma das escápulas: PC1 – 54,88%; PC2 – 18,92%; PC3 – 9,3%; PC4 – 4,86% (Figura 37). Com base nestes resultados compararam-se os dois PCs mais influentes através de um gráfico de dispersão (Figura 38). Analisando o gráfico de dispersão, observamos que, apesar de existirem alguns indivíduos aproximados, a maioria é bem distinta.

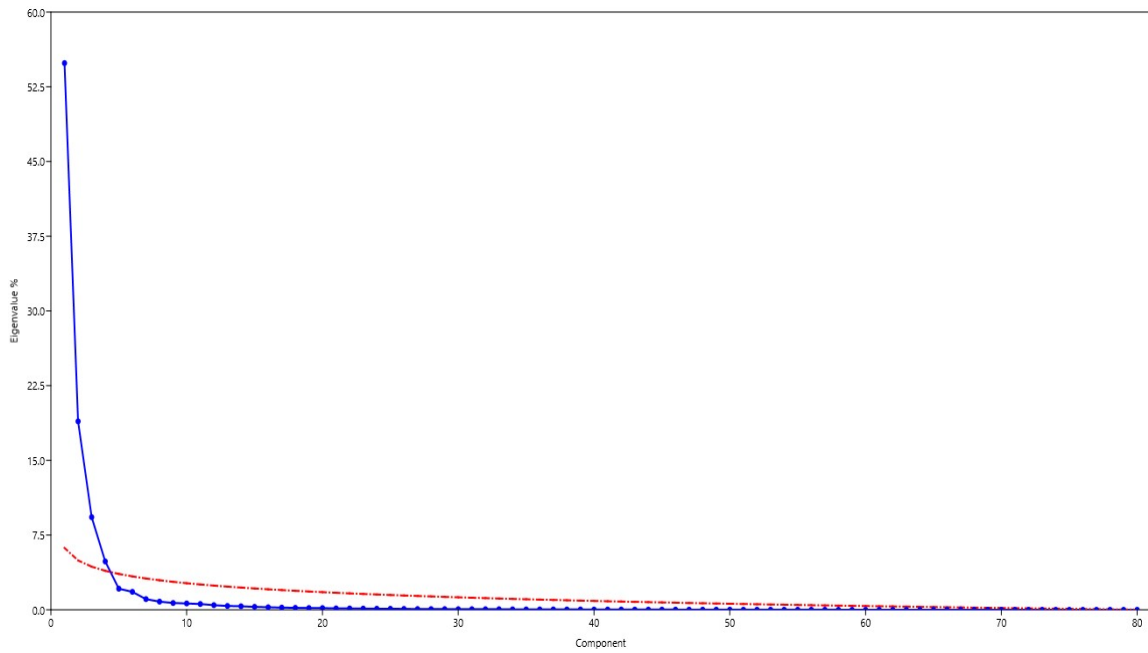


Figura 37 -- *Scree plot* com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos da CEI/XXI. Os PC que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

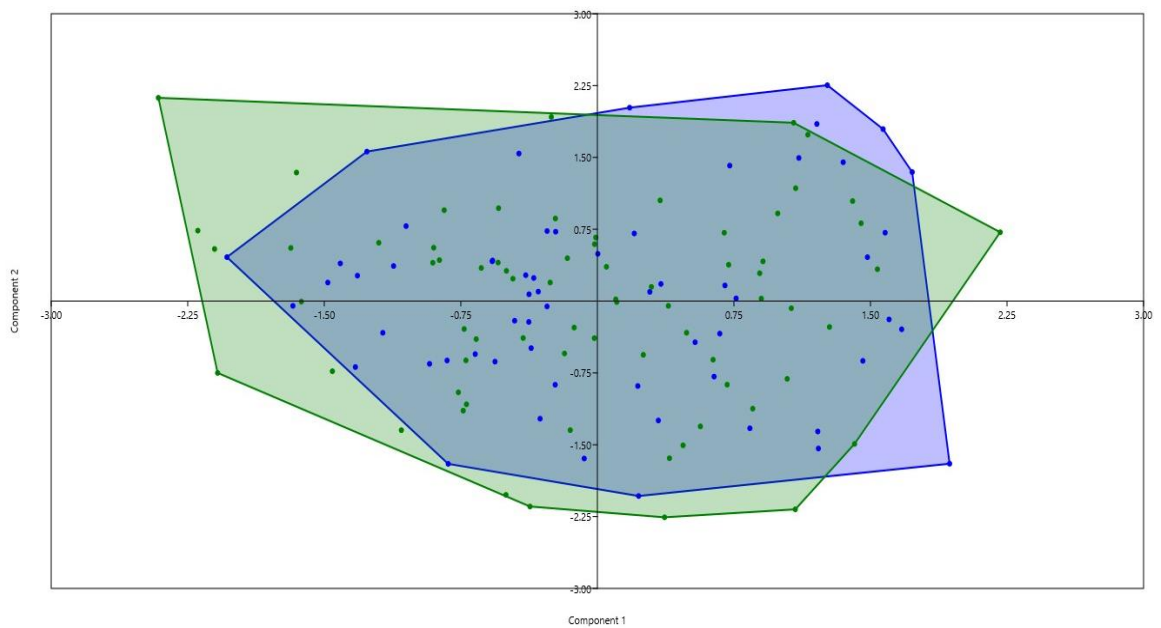


Figura 38 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCS, a verde estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI.

3. Resultados

Na figura 39 podemos observar os efeitos de cada PC tem na variação da forma das escápulas. O PC1 provoca um estreitamento na zona da cavidade glenóidea e na parte superior da margem lateral. Na margem lateral ocorre um aumento do comprimento das escápulas, que culmina com um alargamento das mesmas até à região inferior. Na região inferior e até metade da margem medial as escápulas tornam-se mais estreitas, a partir do meio e até à zona do ângulo superior estas alargam. Na zona superior voltamos a observar um novo estreitamento. O PC2 provoca um estreitamento tanto nas margens lateral como medial. Nas regiões dos ângulos inferior e superior podemos observar um aumento do comprimento das escápulas. O PC3 origina um estreitamento desde a cavidade glenóidea, onde também se observa um aumento de comprimento, até à região inferior. Na região inferior ocorre um aumento de comprimento das escápulas que continua pela margem medial, onde também se observa um alargamento até à região onde se une com a espinha escapular. A partir daí e em toda a região superior ocorre um estreitamento. O PC4 promove um alargamento na cavidade glenóidea e na zona superior da margem lateral. Na restante margem lateral ocorre um estreitamento. Na região inferior há um aumento de comprimento das escápulas. Na margem medial podemos observar uma diminuição da largura até à região onde se junta com a espinha escapular. Nessa região medial e supraespinhosa há um aumento da largura que ocorre até à região superior, onde se dá uma diminuição do comprimento das escápulas.

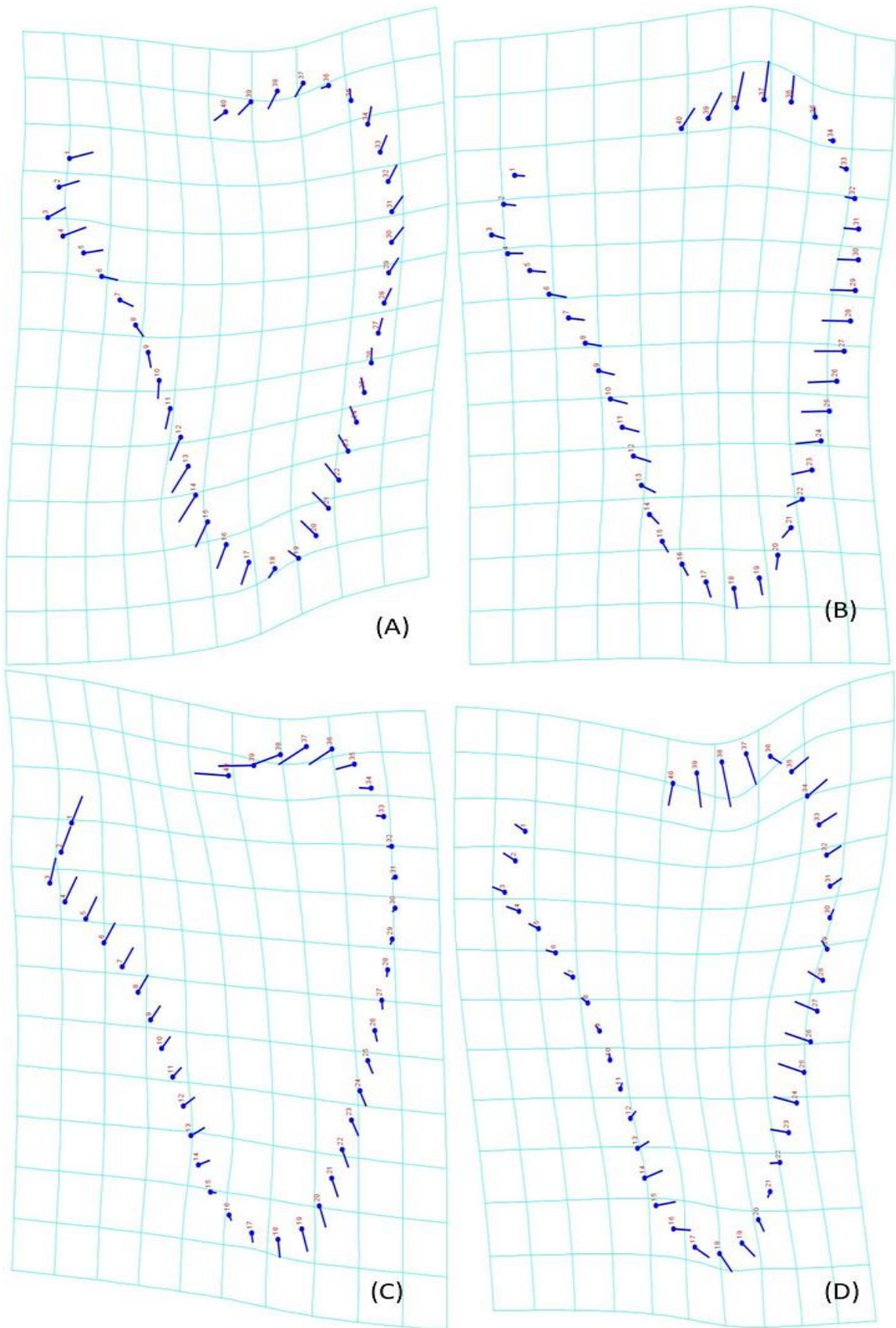


Figura 39 - Grelhas de transformação mostrando variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D).

3. Resultados

Na CVA observamos que existem alguns indivíduos de sexos diferentes que partilham uma característica específica, o que levou a uma classificação errada desses indivíduos. A figura 40 representa o histograma que resulta da CVA mostra a distribuição dos indivíduos e a sua frequência em cada valor de CV.

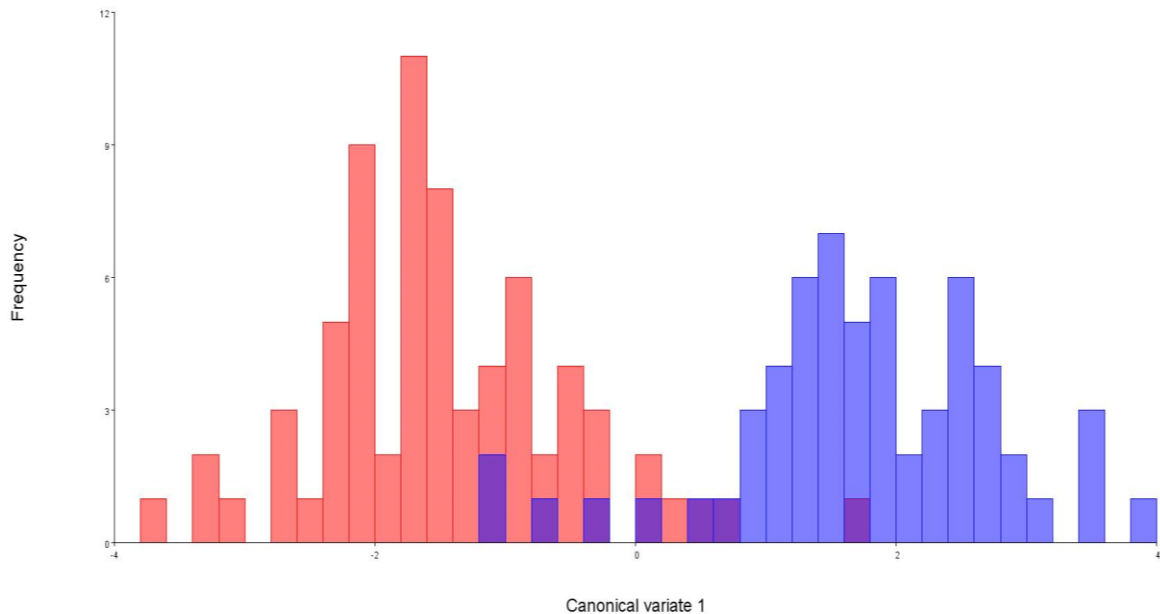


Figura 40 - Histograma com a distribuição dos indivíduos e a sua frequência consoante o valor de CV. A azul estão representados indivíduos do sexo masculino e a vermelho indivíduos do sexo feminino.

Depois da CVA foi realizada uma análise discriminante para avaliar a exactidão com que cada indivíduo pode ser agrupado correctamente segundo o seu sexo. A tabela 16 apresenta os resultados.

Na primeira análise foram correctamente classificados 94,66% dos indivíduos. Para o sexo masculino houve uma classificação correcta de 95%, apenas 3 indivíduos dos 60 foram classificados incorrectamente. O sexo feminino apresenta uma classificação correcta de 94,37% em que apenas 4 indivíduos dos 71 foram mal classificados.

Na segunda análise, que conta com um método de validação cruzada (*jackknife*), a classificação correcta é de 61,07%. No sexo masculino foram mal classificados 26 dos 60 indivíduos, o que corresponde a 56,67% de acerto. No sexo feminino foram mal classificados 25 dos 71 indivíduos, ou seja, uma taxa de acerto de 64,79%.

3. Resultados

Tabela 16 - Classificação dos indivíduos da CEI/XXI por grupo, resultante da análise discriminante.

	M	F	Total	Classificação correcta
M	57	3	60	95%
F	4	67	71	94,37%
Total	61	70	131	94,66%

Jackknifed

	M	F	Total	Classificação correcta
M	34	26	60	56,67%
F	25	46	71	64,79%
Total	59	72	131	61,07%

Legenda: M - masculino; F - feminino

Para verificarmos se existe alometria nos indivíduos da CEI/XXI efectuou-se uma regressão linear. Os resultados são apresentados na tabela 17 e estão expostos graficamente na figura 41. A regressão linear mostrou-nos uma relação do tamanho e forma de cerca de 0,37%, o que nos permite afirmar que não existe alometria.

Tabela 17 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEI/XXI.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,73546087
Predicted SS:	0,00270161
Residual SS:	0,73275926

Relação tamanho-forma

% predicted:	0,37%
--------------	-------

Legenda: SS - soma dos quadrados

3. Resultados

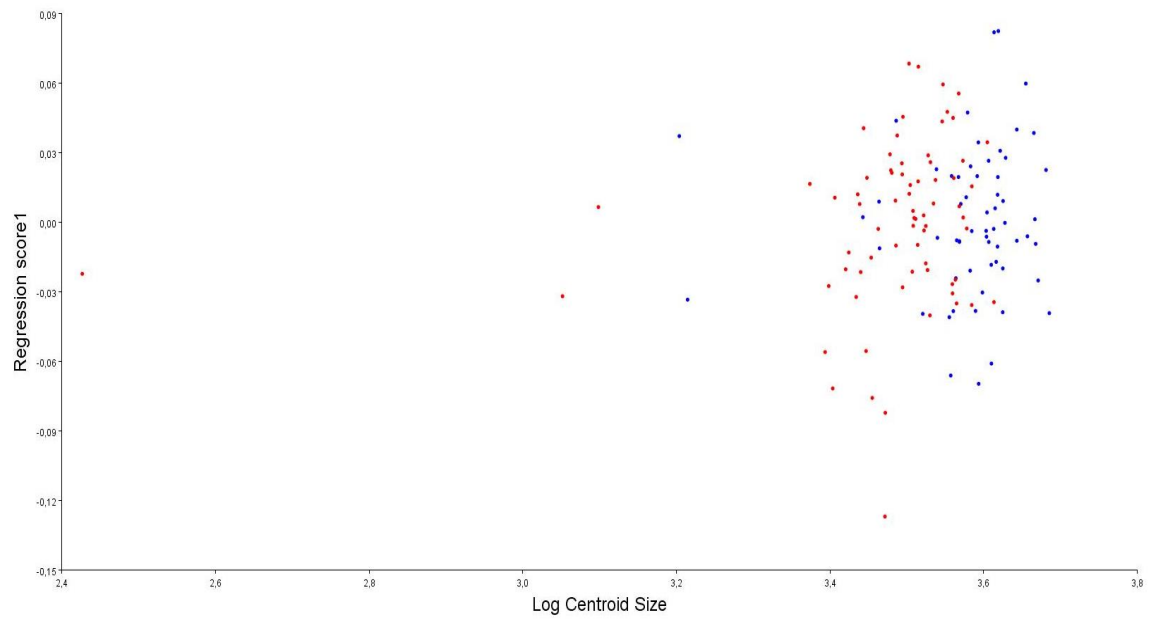


Figura 41 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino.

3.4.2. Coleção de Esqueletos Identificados da Universidade de Coimbra

De forma a avaliar o dimorfismo sexual entre os indivíduos em estudo da CEIUC foi aplicada uma Procrustes ANOVA. A Procrustes ANOVA permite-nos inferir que existem diferenças significativas apenas para o tamanho do centróide, o valor obtido para a forma não é estatisticamente significativo (Tabela 18). Os indivíduos do sexo masculino apresentam o maior tamanho do centróide.

Tabela 18 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise do dimorfismo sexual dos indivíduos da CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	385,544091	385,544091	1	131,78	<0,0001
Residual	228,204855	2,925703	78		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,02676633	0,000352189	76	5,35	0,384
Residual	0,39057146	6,58859E-05	5928		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - Sexo

As escápulas dos indivíduos do sexo feminino são mais largas na região da fossa coracóideia e na parte superior da margem lateral, na zona inferior da mesma margem estreitam, ao contrário do que acontece nos indivíduos do sexo masculino. Na zona do ângulo inferior, este é mais agudo para os indivíduos do sexo feminino e mais largo nos indivíduos masculinos. Na margem medial, na região supraespinhosa a curva é mais acentuada em indivíduos do sexo masculino, o mesmo acontece no ângulo superior, que é menos acentuado nos indivíduos do sexo feminino. As escápulas dos indivíduos do sexo masculino são maiores que as do sexo feminino.

A figura 42 é uma representação gráfica da superimposição de Procrustes.

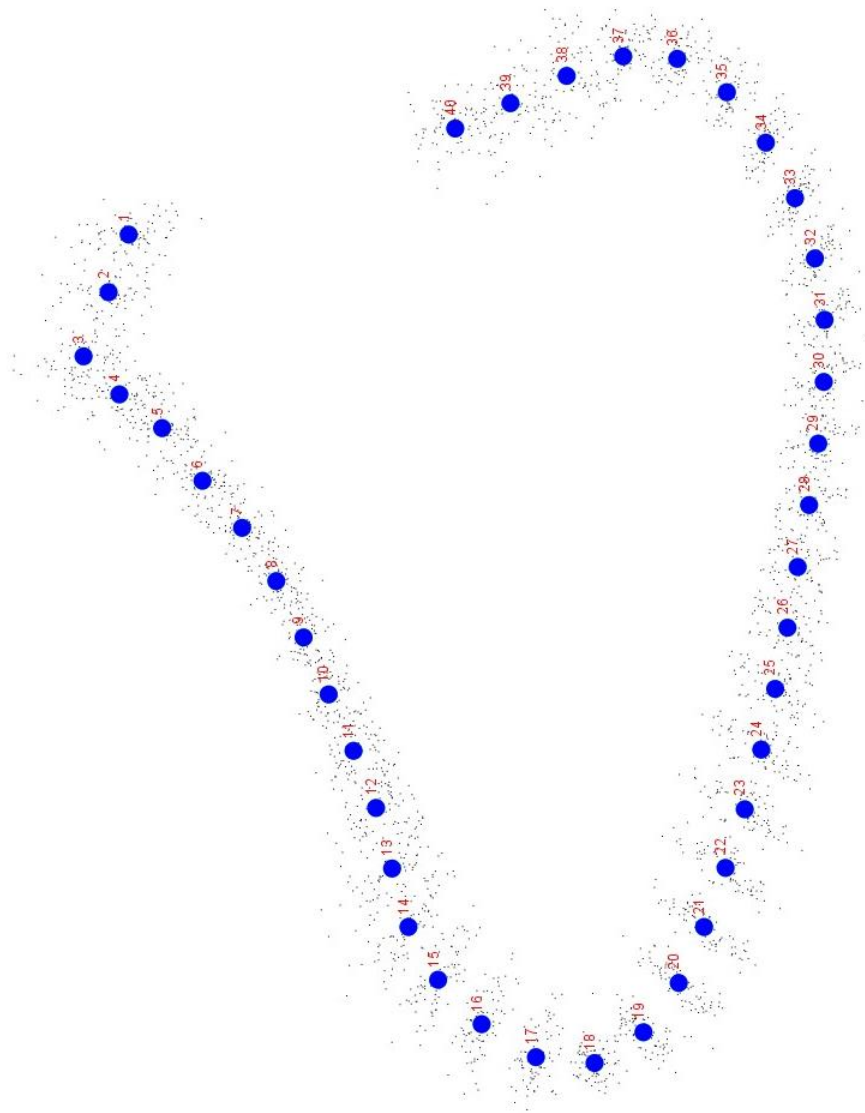


Figura 42 - Superimposição de Procrustes para os indivíduos da CEIUC. Entre os pontos 7 e 11, na face lateral observamos menor variabilidade, enquanto na zona entre os pontos 13 a 24 observamos uma maior variação.

O PCA indica-nos quais os PCs que mais influenciam na variação da forma das escápulas. Por esta análise percebemos que os quatro primeiros PCs são responsáveis por 86,4% da variação total: PC1 – 56,42%; PC2 – 14,62%; PC3 – 9,91; PC4 – 5,45 (Figura 43). Foi realizado um gráfico de dispersão entre o PC1 e PC2 de forma a avaliar a variabilidade de forma entre os dois sexos (Figura 44).

3. Resultados

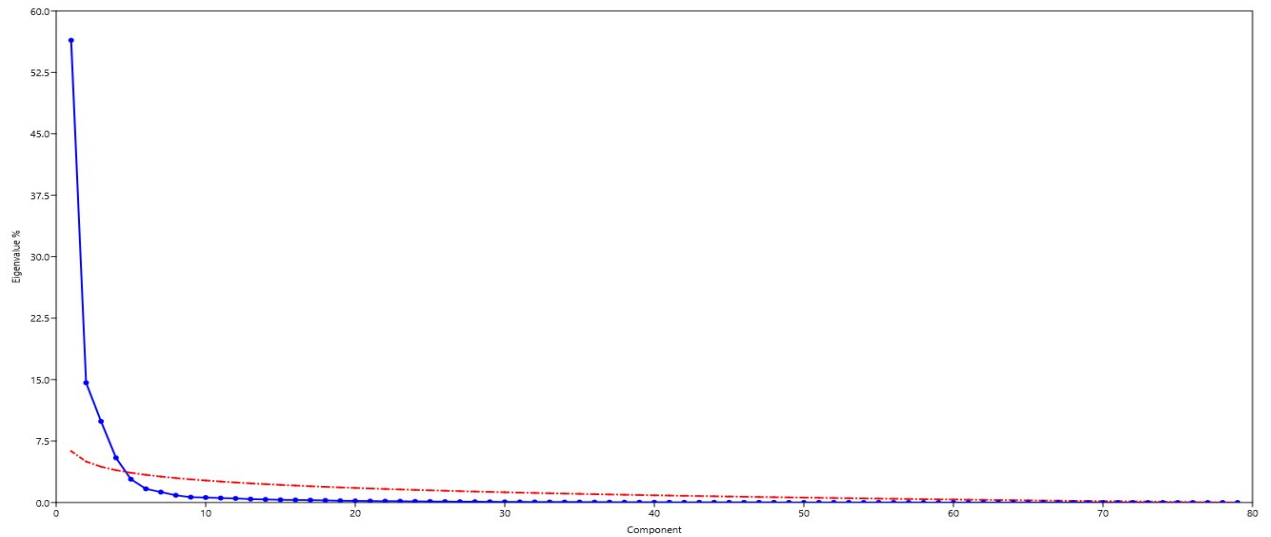


Figura 43 - Scree plot com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos da CEIUC. Os PC que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

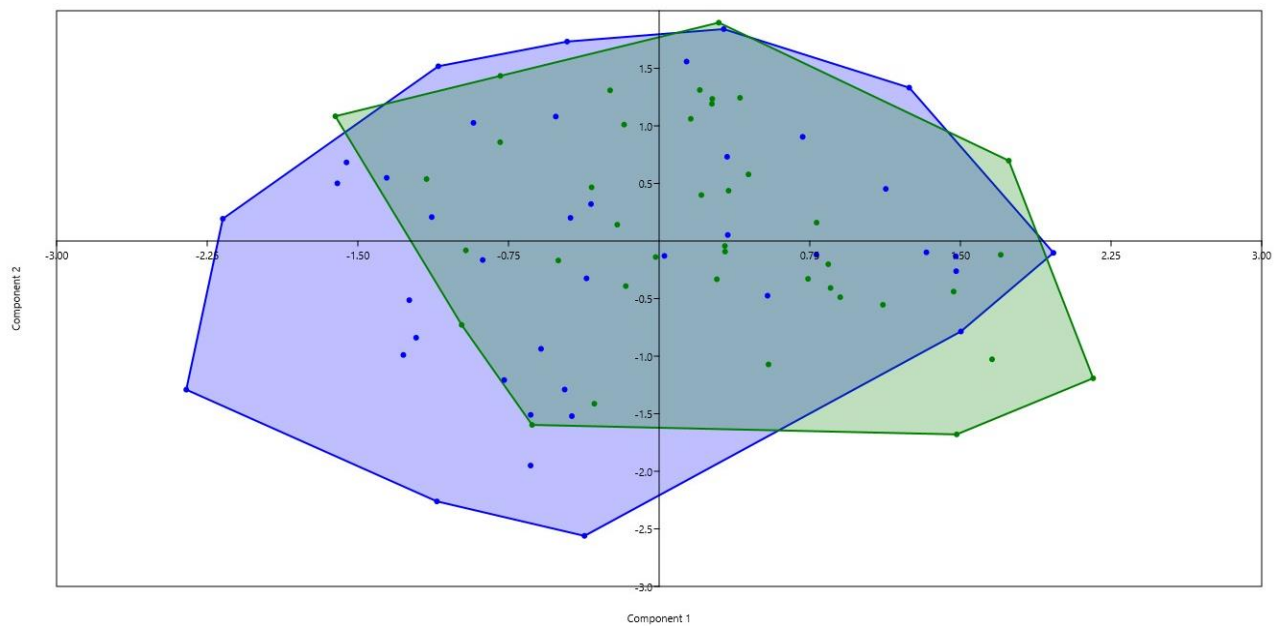


Figura 44 - Gráfico de dispersão para os dois primeiros PCs, a verde estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEIUC.

3. Resultados

A figura 45 apresenta graficamente os efeitos de cada PC na variação da forma das escápulas dos indivíduos da CEIUC. O PC1, na região da fossa glenóidea e na região superior da face lateral, promove uma diminuição da largura das escápulas. Na restante face lateral, começa por ocorrer um aumento do comprimento e na região mais inferior dá-se um alargamento até ao ângulo inferior. Na parte inferior da margem medial ocorre um estreitamento até à zona onde se une com a espinha escapular. A partir daí inicia-se um alargamento, até ao ângulo superior, onde é promovido um aumento do comprimento. Na restante zona superior ocorre o inverso. O PC2 apresenta, na fossa glenóidea, uma zona de estreitamento e na zona circundante da margem lateral. No seguimento da margem lateral ocorre um alargamento até à região inferior das escápulas, onde se dá uma diminuição do comprimento. Na margem medial a largura aumenta até à região superior onde ocorre um encolhimento das escápulas. O PC3 apresenta uma diminuição da largura da escápula em toda a margem lateral. Na região inferior podemos observar um aumento do comprimento das escápulas que se segue até meio da margem medial. Acima desse ponto começa a estreitar. Na região superior continua o estreitamento, sendo que no ângulo superior inferimos uma diminuição do comprimento, enquanto na região da chanfradura coracóidea ocorre um aumento do mesmo. O PC4 provoca um estreitar desde a fossa glenóidea até meio da margem lateral. Na metade inferior da margem lateral observamos um alargamento. Na região inferior temos uma diminuição do comprimento das escápulas. A margem medial apresenta um alargamento até ao seu meio, na restante margem inferimos que estreita. Na região superior é promovido um aumento do comprimento das escápulas.

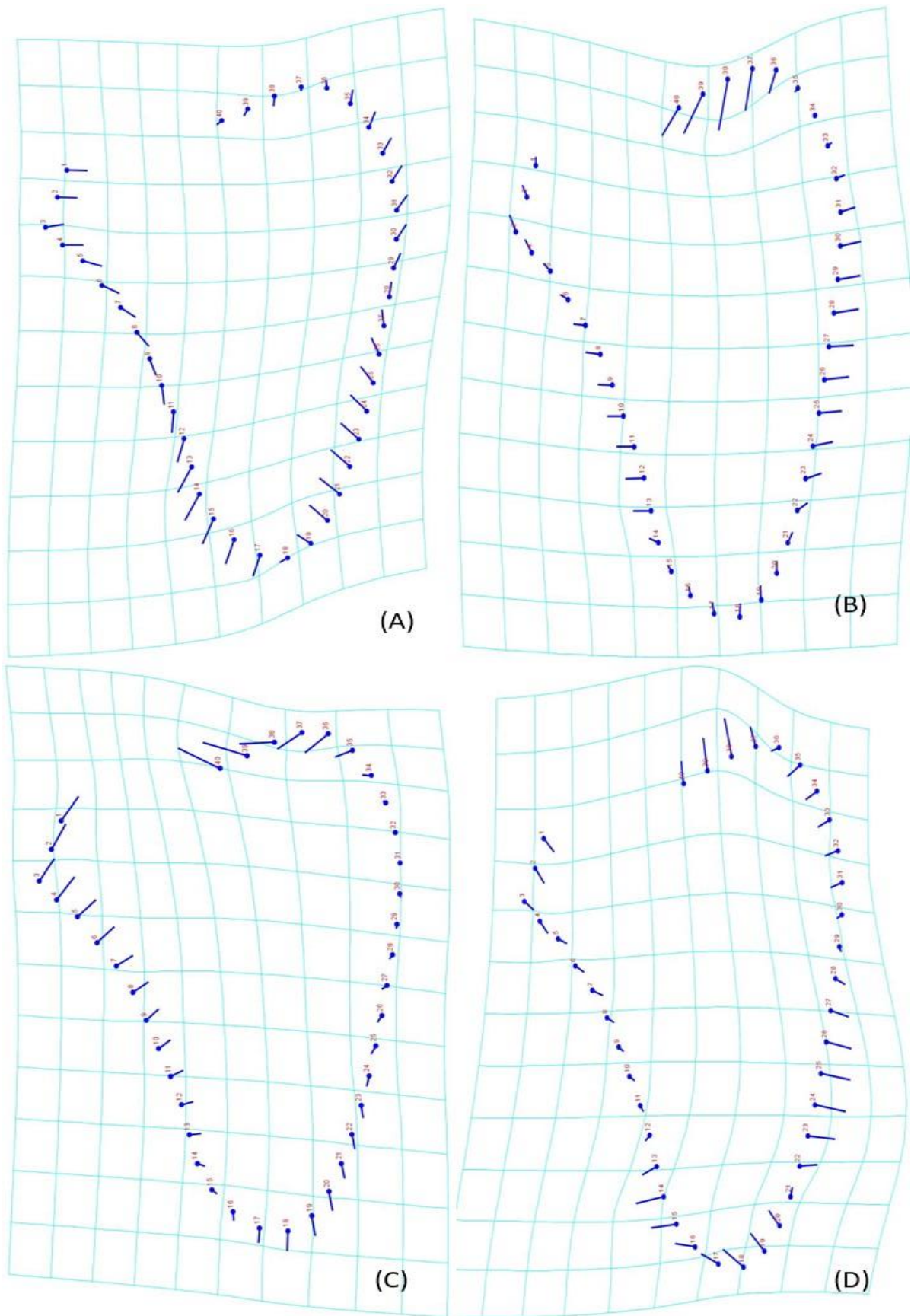


Figura 45 - Grelhas de transformação mostrando variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D).

3. Resultados

Para avaliar se existe alometria foi feita uma regressão linear. Na tabela 19 apresentam-se os resultados e na figura 46 o gráfico da regressão. Pelos resultados obtidos podemos afirmar que não existe relação entre o tamanho e a forma, pois o tamanho é apenas responsável por 1,48% da variabilidade da forma.

Tabela 19 - Resultado da regressão linear para os indivíduos da CEIUC.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,39057146
Predicted SS:	0,00578916
Residual SS:	0,38478229
Relação tamanho-forma	
% predicted:	1,48%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

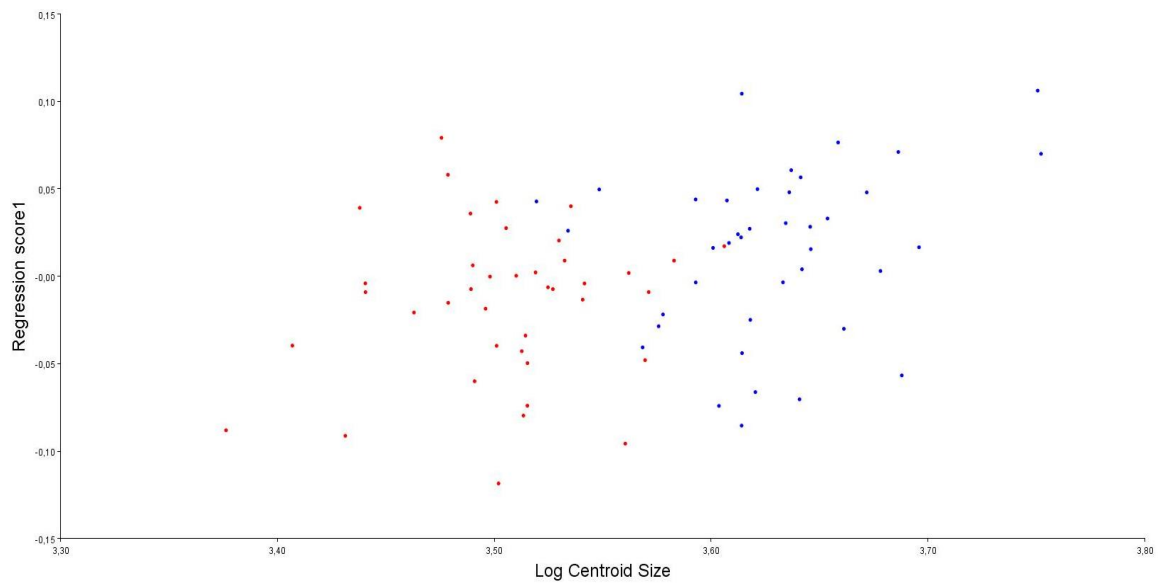


Figura 46 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino.

3.4.3. Amostra completa

Nesta análise foram testados todos os indivíduos da amostra. Com recurso a uma Procrustes ANOVA foi avaliado o dimorfismo sexual dos indivíduos. O resultado da Procrustes ANOVA estão expostos na tabela 20. Analisando a tabela podemos observar que existem diferenças entre os sexos para o tamanho do centróide e para a forma.

Tabela 20 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	779,947691	779,947691	1	95,51	<0,0001
Residual	1633,109111	7,889416	207		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,02532287	0,000333196	76	4,54	<0,0001
Residual	1,16496464	0,000073342	15732		

Legenda: SS - Soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - Sexo

As escápulas dos indivíduos do sexo feminino apresentam-se mais largas na região da fossa glenóidea. Na face medial, na sua parte mais inferior as do sexo masculino alargam em relação às do sexo feminino que tendem a estreitar. Na face anterior as escápulas do sexo feminino tendem a ter o ângulo inferior projectado, ao contrário das do sexo masculino que apresentam o ângulo inferior em linha com a restante face. Na face medial a parte superior tem uma curva mais acentuada para os indivíduos do sexo masculino, o que normalmente indica um ângulo superior mais projectado em relação aos indivíduos do sexo feminino. Em média, as escápulas dos indivíduos do sexo masculino são maiores que as do sexo feminino.

Na figura 47 temos representada a superimposição de Procrustes.

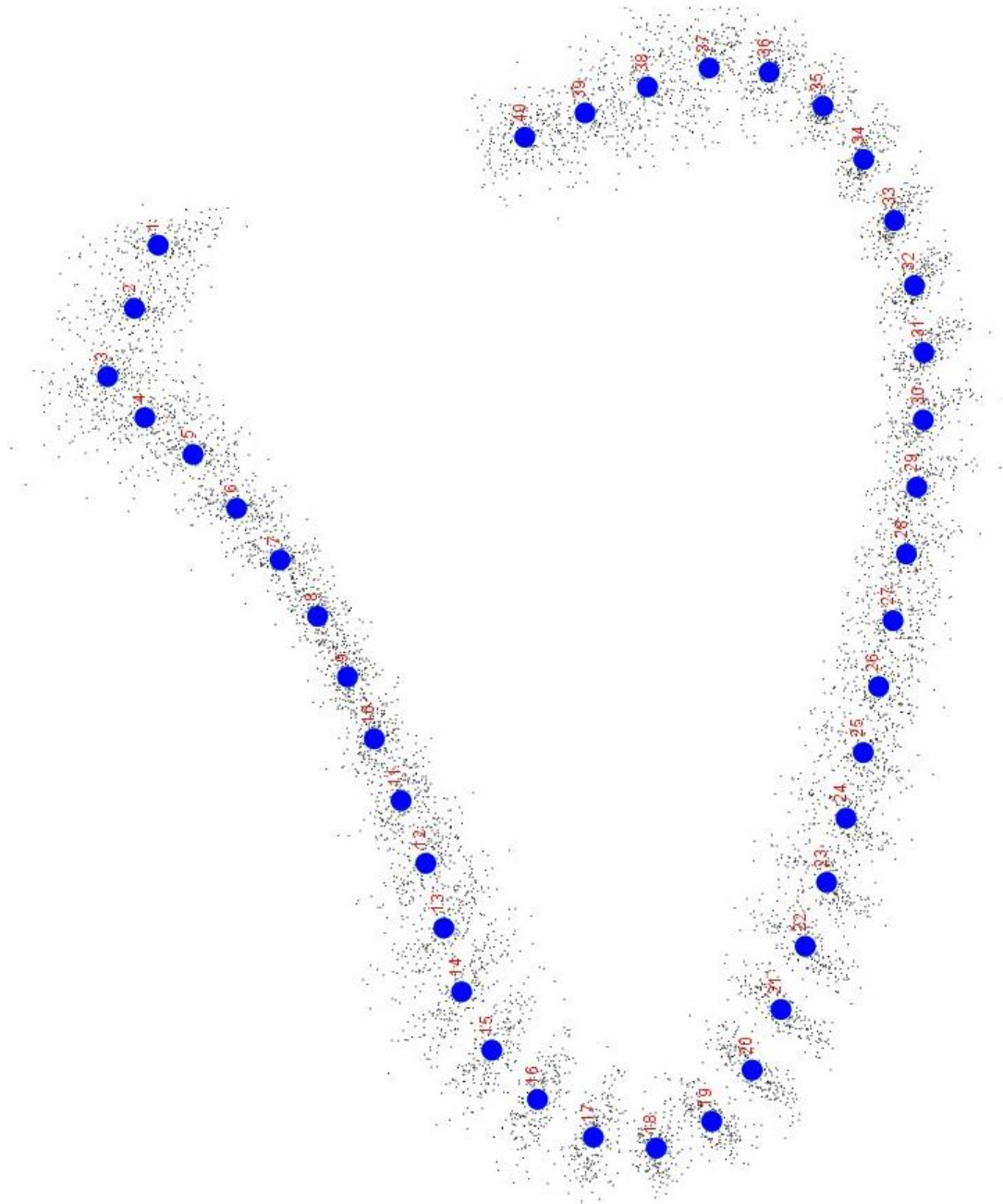


Figura 47 - - Superimposição de Procrustes de todos os indivíduos. Entre os pontos 1 e 4, 13 e 17 e na face medial é onde se observa a maior variabilidade, ao contrário, é nos pontos 7 a 10 onde se observam as menores variações na forma.

Após a Procrustes ANOVA foi realizado um PCA. A figura 48 indica-nos quais os PCs que exercem maior influência: PC1 – 54,59%; PC2 – 17,79%; PC3 – 9,51%; PC4 – 5,12%, ou seja, são responsáveis por 87,01% da variação da forma. Na figura 49 é feita a comparação entre o PC1 e PC2 através de um gráfico de dispersão. Podemos ver que existe sobreposição entre indivíduos de sexos opostos.

3. Resultados

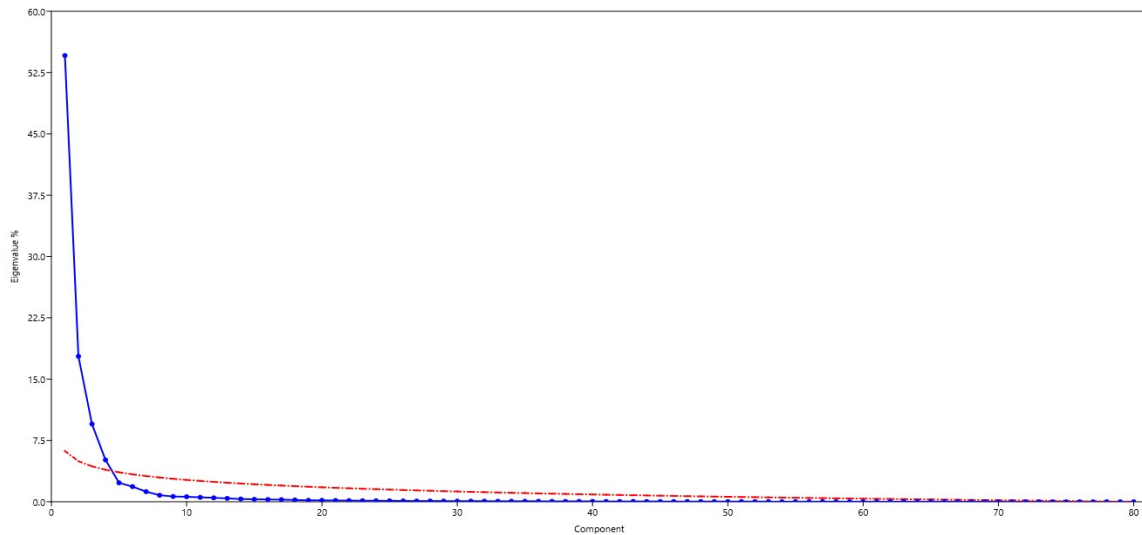


Figura 48 - *Scree plot* com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos da CEIUC e CEI/XXI. Os PCs que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

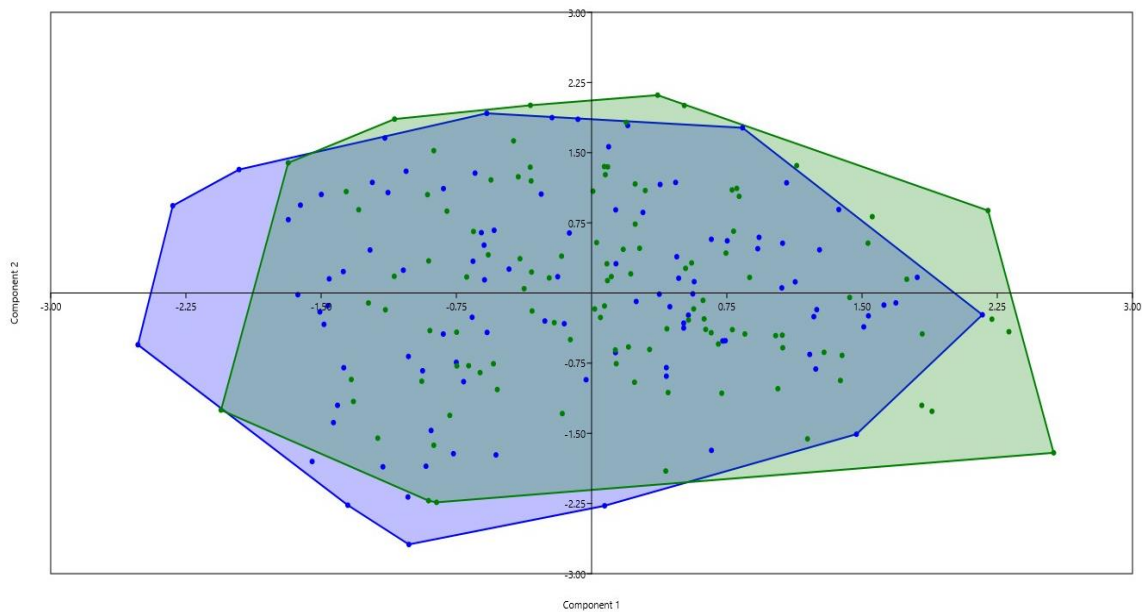


Figura 49 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a verde estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino.

3. Resultados

A figura 50 representa graficamente o efeito de cada PC na variação da forma das escápulas. O PC1 provoca um estreitamento na zona da fossa glenóidea e na parte superior da face lateral. Na restante face lateral observa-se um aumento do comprimento combinado com um alargamento na sua parte mais inferior. Na face inferior analisamos um alargamento e aumento de comprimento junto à face lateral. Na face medial primeiro observamos um estreitamento, a partir da sua zona média inferimos um aumento de crescimento na direcção da face superior. Desde que a espinha escapular se une com a face medial e até esta confluir na face superior percebemos que ocorre um alargamento. Na face superior temos um estreitamento. No PC2 observamos estreitamento na fossa glenóidea e nas faces lateral e medial. Nas faces superior e inferior constatamos um aumento do comprimento das escápulas. O PC3 aumenta o comprimento na zona da fossa glenóide e provoca um estreitamento desde essa zona até ao fim da face lateral. Na face inferior notamos um aumento do comprimento escapular que se segue até à zona de união da espinha escapular com a face medial, com um aumento de largura. A partir dessa região observamos um estreitamento que se estenda a toda a face superior. No PC4 verificamos um alargamento das escápulas na fossa glenóidea e na parte superior da face lateral, acompanhado de aumento de comprimento. Na restante face lateral podemos ver o estreitamento. Na face inferior ocorre aumento do comprimento escapular. A face medial começa com um estreitar das escápulas, mas após a curva supraespinhosa podemos constatar o alargamento das mesmas. Na face superior é promovida uma diminuição do comprimento escapular.

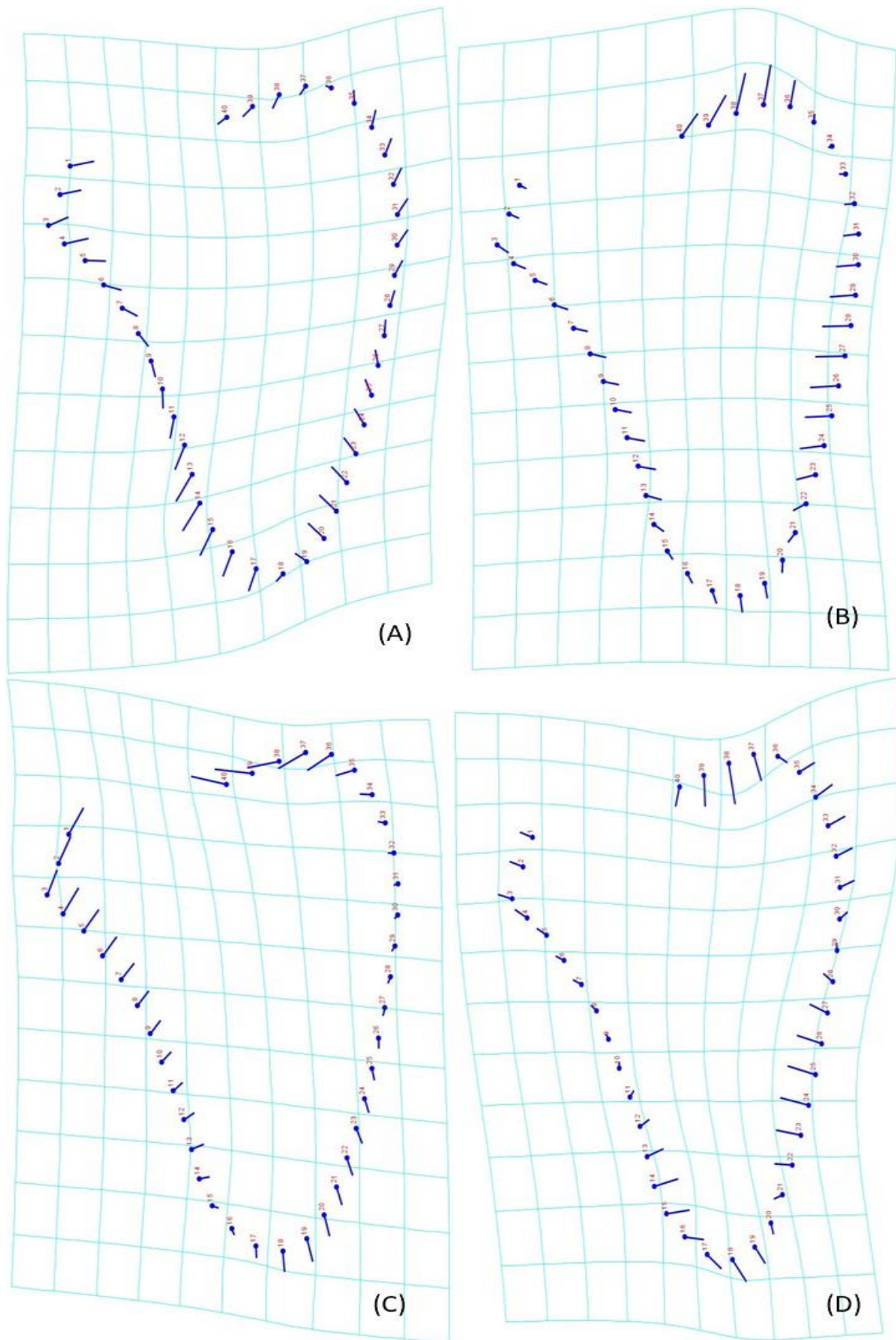


Figura 50 - Grelhas de transformação mostrando variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D) dos indivíduos das colecções CEI/XXI e CEIUC.

3. Resultados

De seguida foi feita uma CVA. Com base nos resultados podemos constatar que vários indivíduos de sexos opostos partilham a mesma, fazendo com que o agrupamento segundo o sexo não seja eficaz (Figura 51).

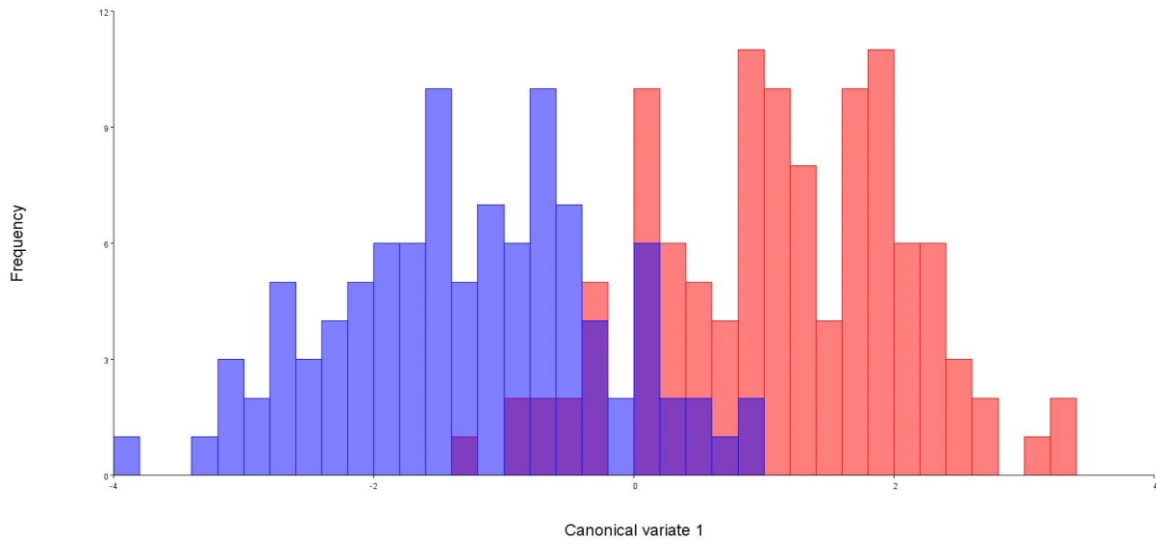


Figura 51 - Histograma com a distribuição dos indivíduos e a sua frequência consoante o valor de CV. A azul estão representados indivíduos do sexo masculino e a vermelho indivíduos do sexo feminino.

Após a CVA foi feita uma análise discriminante para avaliar a exactidão com que cada indivíduo era agrupado no seu sexo correspondente. Os resultados estão dispostos na tabela 21.

A primeira análise teve uma classificação correcta de 89,10%. De um total de 100 indivíduos do sexo masculino foram correctamente classificados 89. Para o sexo feminino houve uma classificação correcta de 99 indivíduos em 111.

A segunda análise contou com um tipo de validação cruzada e a classificação correcta foi de 65,88%. Dos 100 indivíduos do sexo masculino foram correctamente classificados cerca de 63. No sexo feminino, de um total de 111 indivíduos foram classificados correctamente 76.

Tabela 21 - Classificação dos indivíduos por grupo, resultante da análise discriminante.

	M	F	Total	Classificação correcta
M	89	11	100	89%
F	12	99	111	89,19%
Total	101	110	211	89,10%

Jackknifed

	M	F	Total	Classificação correcta
M	63	37	100	63%
F	35	76	111	68,47%
Total	98	113	211	65,88%

Legenda: M - masculino; F - feminino

De forma a analisar qual a influência do tamanho na forma das escápulas foi feita uma regressão linear. Os resultados da regressão podem ser vistos na tabela 22 e a sua representação gráfica na figura 52. Analisando a tabela vemos que o tamanho apenas influencia a forma em 0,72%, pelo que podemos concluir que não existe alometria.

Tabela 22 - Resultado da regressão linear para todos os indivíduos da amostra.

Soma dos quadrados	
Total SS:	1,16496464
Predicted SS:	0,00840078
Residual SS:	1,15656386
Relação tamanho-forma	
% predicted:	0,72%

Legenda: SS - soma dos quadrados

3. Resultados

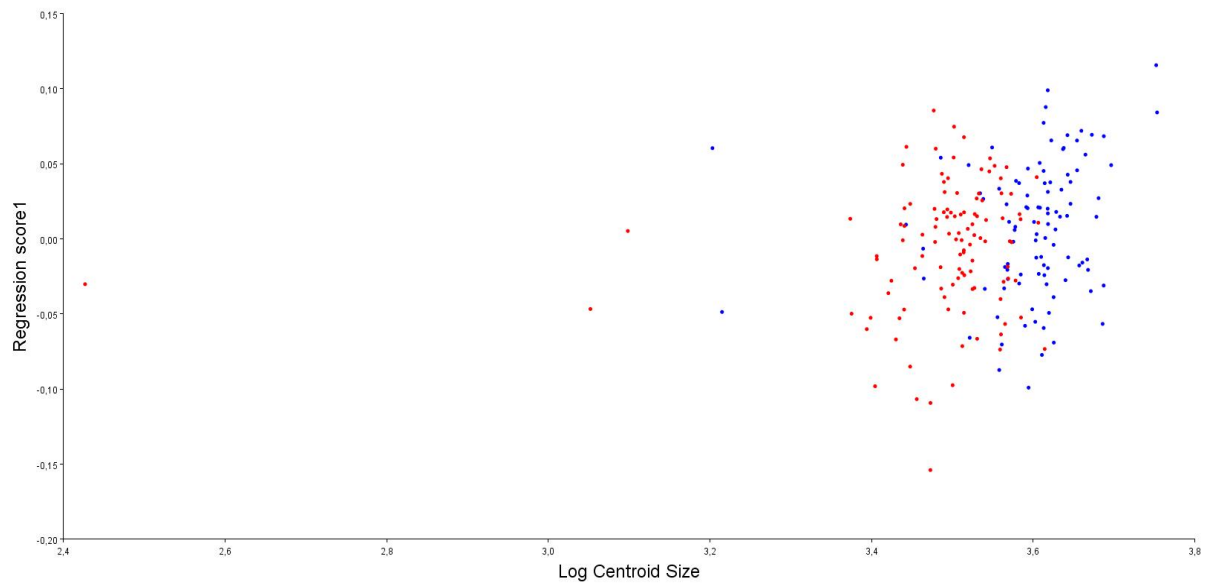


Figura 52 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino e a azul os indivíduos do sexo masculino.

3.5. Comparação entre Coleções através de *Semilandmarks*

3.5.1. Sexo feminino

Nesta análise foram testados todos os indivíduos do sexo feminino das coleções, de modo a verificarmos se existem diferenças entre ambas. Através da aplicação da Procrustes ANOVA verificamos que existem diferenças significativas entre os indivíduos das coleções para a forma. Para o tamanho do centróide as diferenças não são estatisticamente significativas. A tabela 23 apresenta os resultados da Procrustes ANOVA.

Tabela 23 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo feminino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	709694,3831	709694,3831	1	1,03	0,3119
Residual	74942576,75	687546,5757	109		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,00808474	0,000106378	76	1,77	<0,0001
Residual	0,49710356	6,00E-05	8284		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - coleção

Quando comparadas, as escápulas dos indivíduos da CEIUC são maiores que da CEI/XXI. A largura das escápulas, na região da cavidade glenóidea, é maior nos indivíduos da CEI/XXI. Os indivíduos da CEIUC têm escápulas mais compridas, as diferenças são mais visíveis na região superior das escápulas.

A figura 53 representa a superimposição de Procrustes.

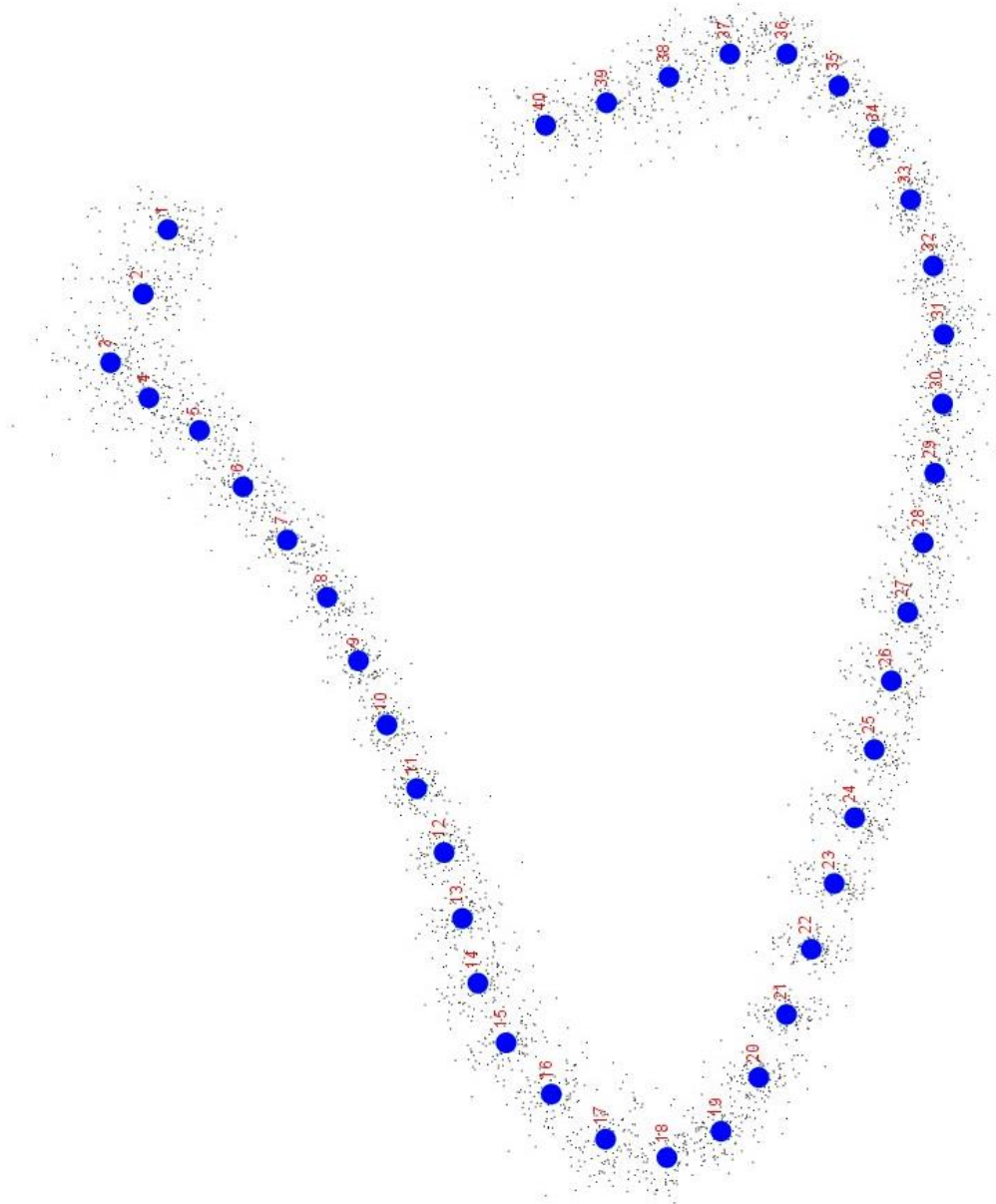


Figura 53 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos femininos. Os pontos 1 a 3, a região inferior e a zona de intersecção entre espinha escapular e a face medial são os locais onde ocorre maior variabilidade, enquanto na face lateral, entre os pontos 7 e 11 ocorre menos variação.

Para sabermos quais os PCs que mais influência têm na forma das escápulas procedeu-se a uma PCA. Os primeiros quatro PCs são responsáveis por 82,39% da variação da forma: PC1 – 39,45%; PC2 – 22,04%; PC3 – 13,62%; PC4 – 7,28% (Figura 54). De forma a avaliar a variabilidade da forma, entre os indivíduos, foi realizado um gráfico de dispersão (Figura 55). Neste gráfico podemos ver como a maioria dos indivíduos das duas colecções apresentam escápulas com formas distintas.

3. Resultados

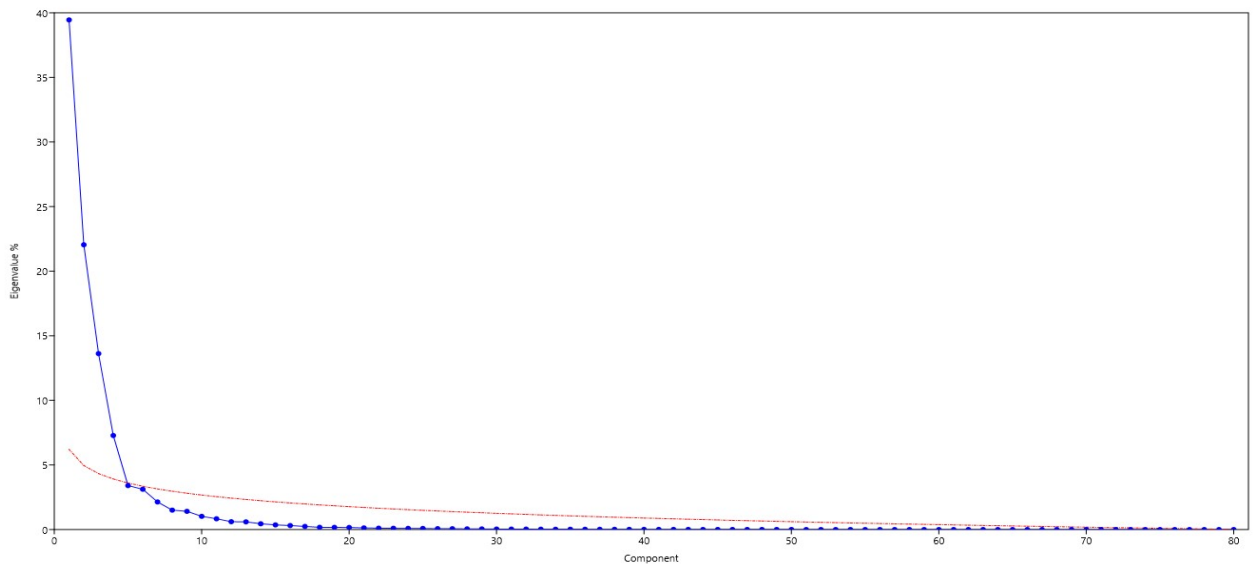


Figura 54 - *Scree plot* com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos femininos da CEIUC e CEI/XXI. Os PCs que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

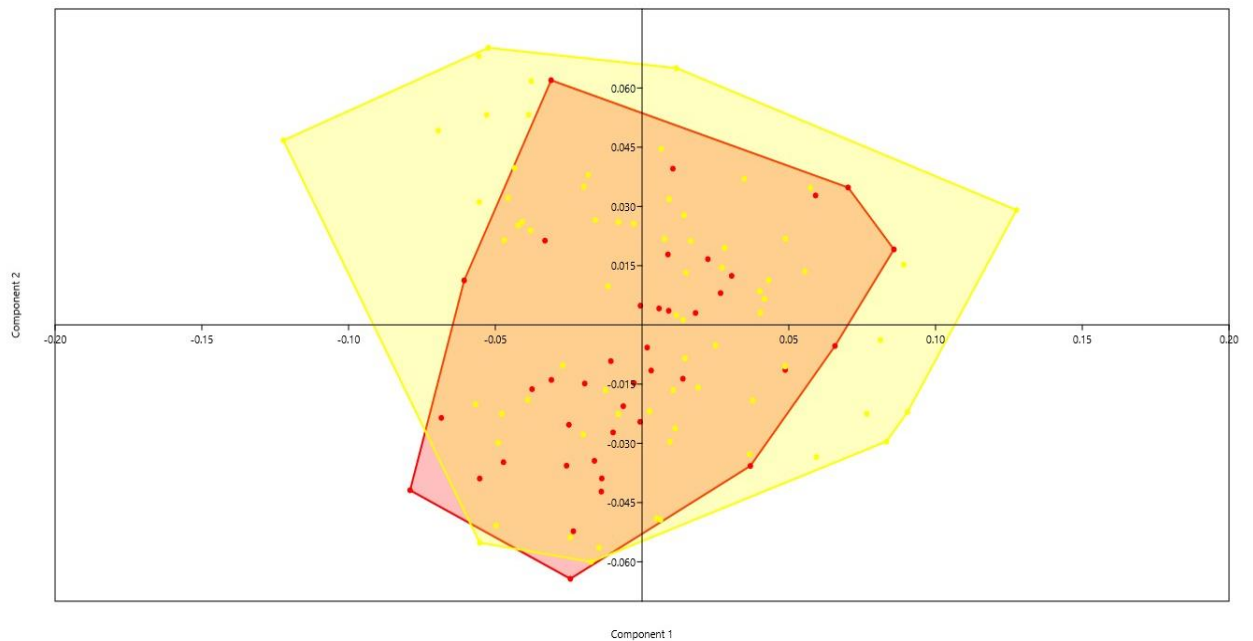


Figura 55 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino da CEIUC e a amarelo os indivíduos do sexo feminino da CEI/XXI.

3. Resultados

A figura 56 apresenta-nos o efeito dos PCs na forma das escápulas. O PC1 provoca um encolhimento na região da cavidade glenóidea e na parte superior da face lateral, na restante face lateral observamos um aumento do comprimento que culmina com um alargar das escápulas até à região inferior. Na face medial dá-se um estreitamento desde a região inferior até ao meio. Após a metade ocorre um aumento de comprimento dessa zona até à região superior das escápulas, onde a largura diminuiu. No PC2, a cavidade glenóidea e a face lateral sofrem um estreitar e ligeiro aumento de comprimento. A região mais inferior da face lateral tem um ligeiro aumento de comprimento, enquanto na restante face ocorre um estreitamento. Na região superior o comprimento das escápulas aumenta. No PC3, em toda a região da cavidade glenóidea e da face lateral, ocorre uma diminuição da largura das escápulas. Na região inferior ocorre um aumento do comprimento, bem como na zona mais inferior da face medial. Na restante face medial e na região superior a largura diminui novamente. O PC4 mostra um aumento da largura na zona da cavidade glenóidea e na zona mais superior da face lateral. Na restante face lateral ocorre uma diminuição da largura das escápulas. Na região inferior observamos um aumento do comprimento. Na face medial, em quase toda a sua extensão, ocorre estreitamento. Apenas na zona superior da face medial dá-se um pequeno alargamento que se estende à região superior, onde é acompanhado por uma diminuição do comprimento.

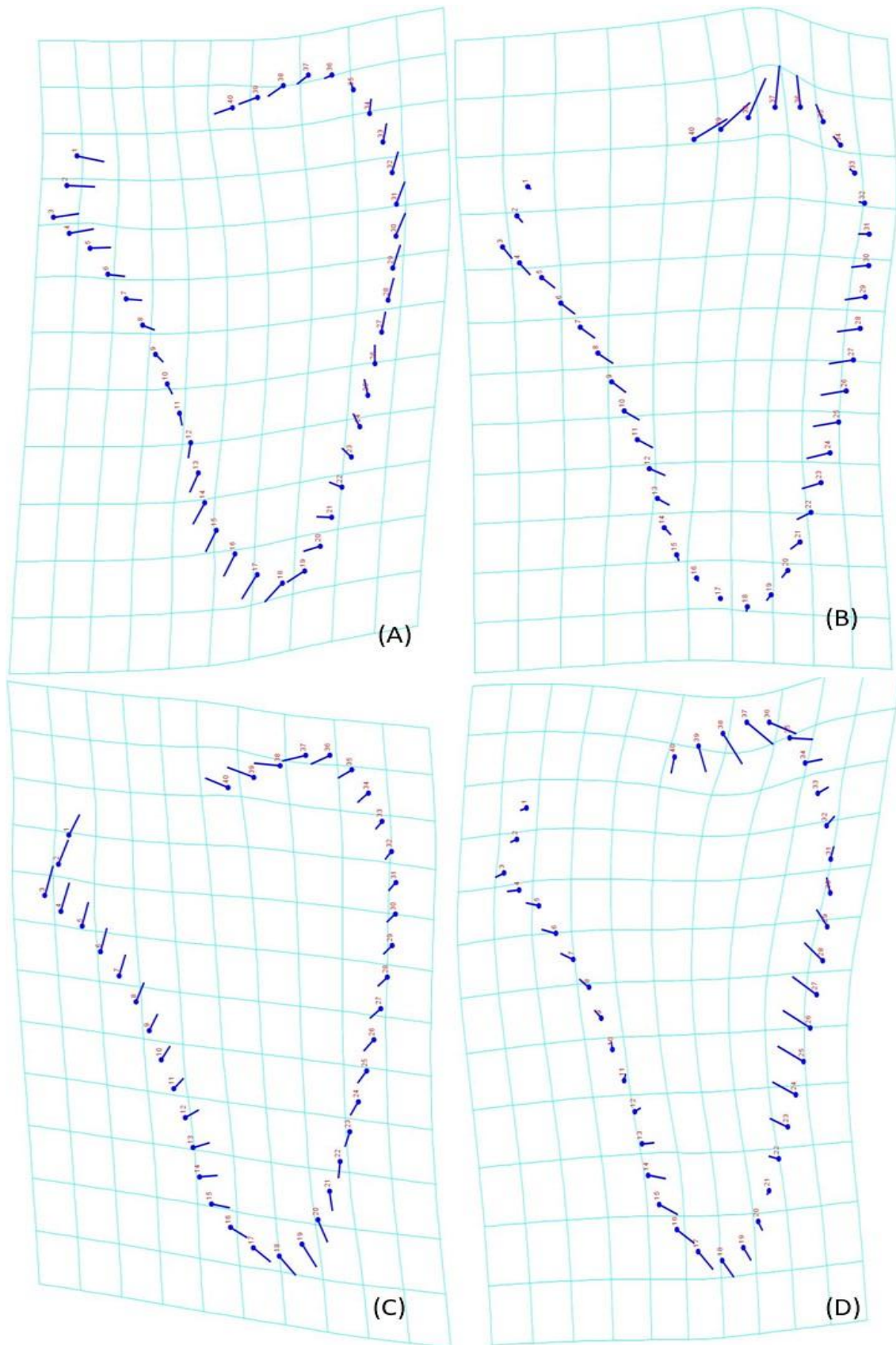


Figura 56 - Grelhas de transformação mostrando variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D) dos indivíduos do sexo feminino das colecções CEI/XXI e CEIUC.

3. Resultados

Para avaliarmos qual a influência do tamanho na variabilidade das escápulas procedemos a uma regressão linear. Os resultados são apresentados na tabela 24 e o seu gráfico na figura 57. Com base nos resultados podemos concluir que não existe alometria, pois o tamanho apenas afecta a forma em 0,85%.

Tabela 24 - Resultado da regressão linear para os indivíduos do sexo feminino da CEI/XXI e da CEIUC.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,49710356
Predicted SS:	0,00423062
Residual SS:	0,49287294
Relação tamanho-forma	
% predicted:	0,85%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

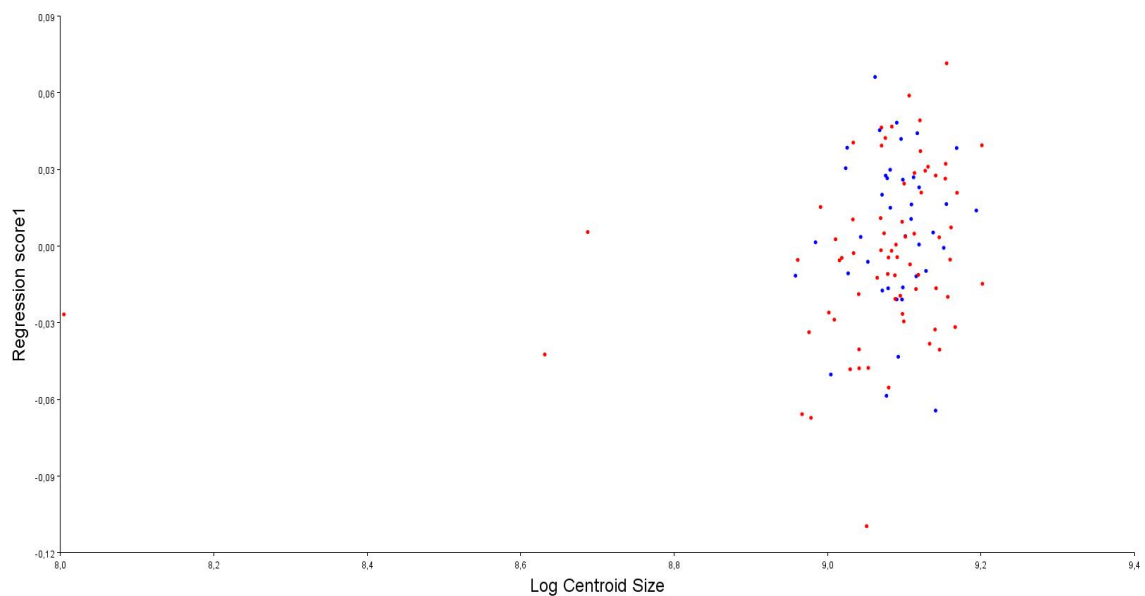


Figura 57 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo feminino CEI/XXI e a azul os indivíduos do sexo feminino da CEIUC.

3.5.2. Sexo masculino

Nesta análise foram testados todos os indivíduos do sexo masculino de ambas as colecções. Através da Procrustes ANOVA observamos que existem diferenças entre as colecções, para os indivíduos do sexo masculino, tanto para o tamanho do centróide como para a forma (Tabela 25).

Tabela 25 - Resultado da Procrustes ANOVA para análise de diferenças na escápula de indivíduos do sexo masculino da CEIUC e CEI/XXI, aplicado ao tamanho do centróide e à forma.

Tamanho do centróide					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	61,841885	61,841885	1	10,24	0,0019
Residual	591,970676	6,040517	98		
Forma					
Efeito	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	0,03121162	0,000410679	76	5,49	<0,0001
Residual	0,55739811	7,48386E-05	7448		

Legenda: SS - soma dos quadrados; MS - média da soma dos quadrados; Individual - colecção

Na região da cavidade glenóidea há um aumento de largura para os indivíduos da CEI/XXI e uma diminuição para os indivíduos da CEIUC. Na face lateral notamos um aumento do comprimento nos indivíduos da CEIUC, enquanto nos indivíduos da CEI/XXI observamos uma diminuição do comprimento. Na região inferior, para os indivíduos da CEIUC, o comprimento aumenta, enquanto para os da CEI/XXI diminui. Na região superior observamos um aumento do comprimento para os da CEIUC. O tamanho das escápulas é maior nos indivíduos da CEIUC do que nos da CEI/XXI.

Na figura 58 temos a representação gráfica da superimposição de Procrustes para todos os indivíduos do sexo masculino.

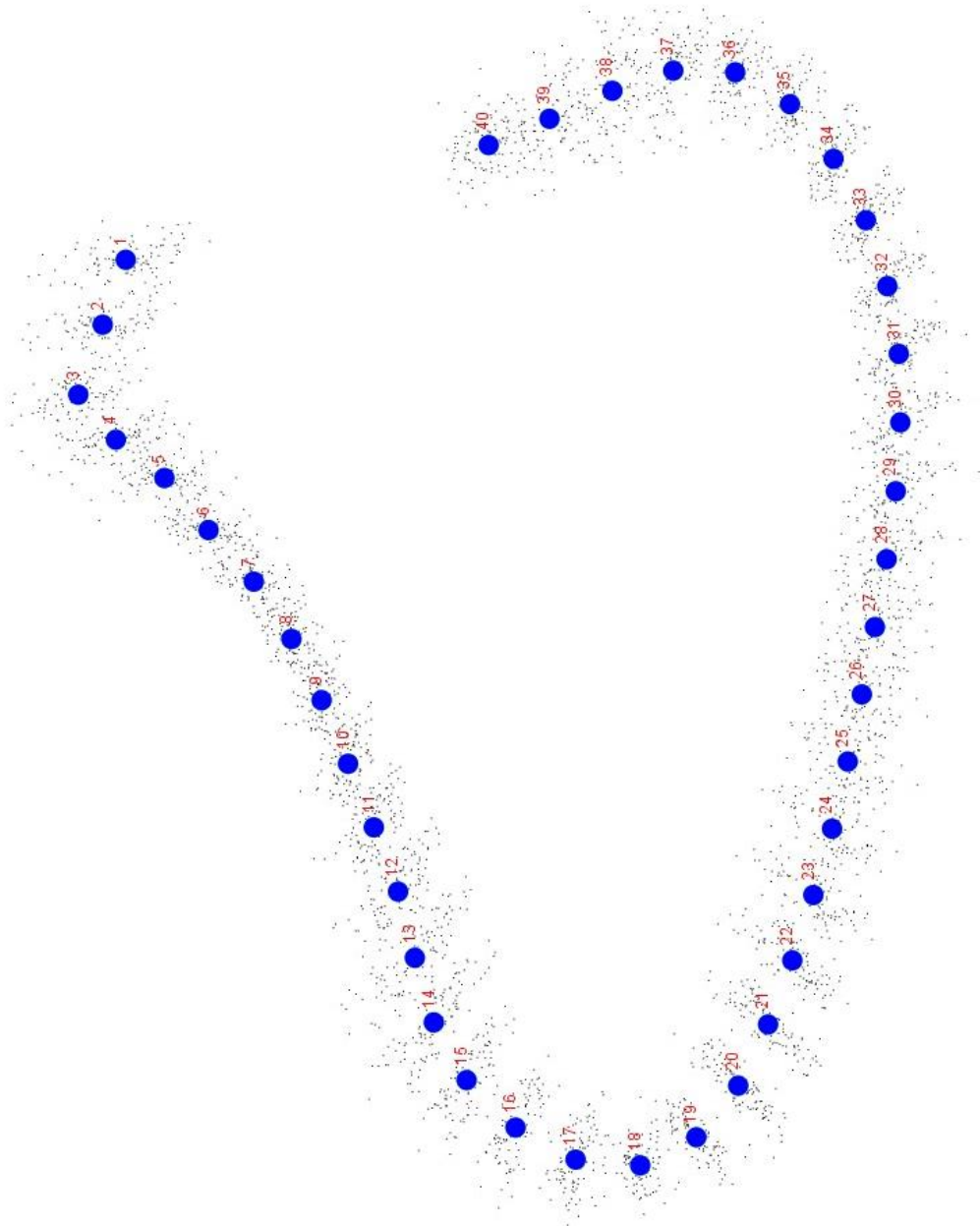


Figura 58 - Superimposição de Procrustes dos indivíduos masculinos. A região onde ocorre menor variação é na face lateral entre os pontos 7 e 11. A maior variabilidade de forma ocorre nos pontos 1 a 3, na região inferior e na região superior.

Através de uma PCA analisámos quais os PCs que mais influenciam a variação da forma das escápulas. Obtivemos os seguintes resultados: PC1 – 58,06%; PC2 – 17,94%; PC3 – 7,51%; PC4 – 4,51%, ou seja, são responsáveis por 88,02% da variação total da forma (Figura 59). De forma a avaliar a variabilidade entre os indivíduos fizemos um gráfico de dispersão (Figura 60). Neste gráfico podemos observar que a maior parte dos indivíduos apresentam escápulas com formas distintas.

3. Resultados

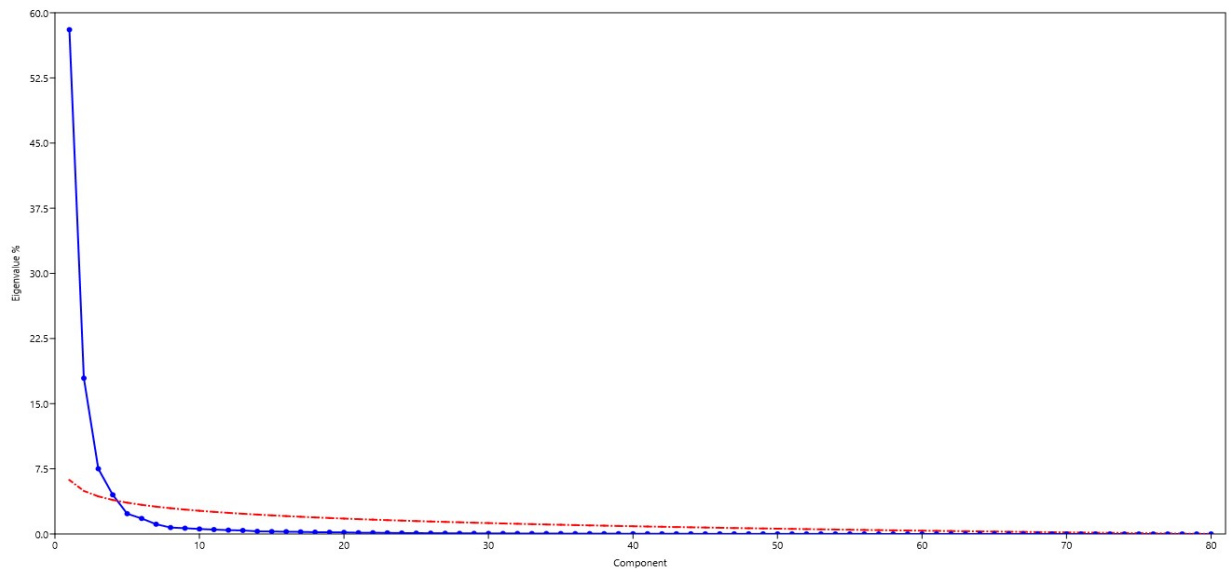


Figura 59 - Scree plot com a proporção de variação descrita por cada PC para os dados das escápulas dos indivíduos masculinos da CEIUC e CEI/XXI. Os PCs que mais influenciam a variação – PC1, PC2, PC3 e PC4 - são aqueles que se situam acima da linha vermelha (*broken stick*=pontilhado).

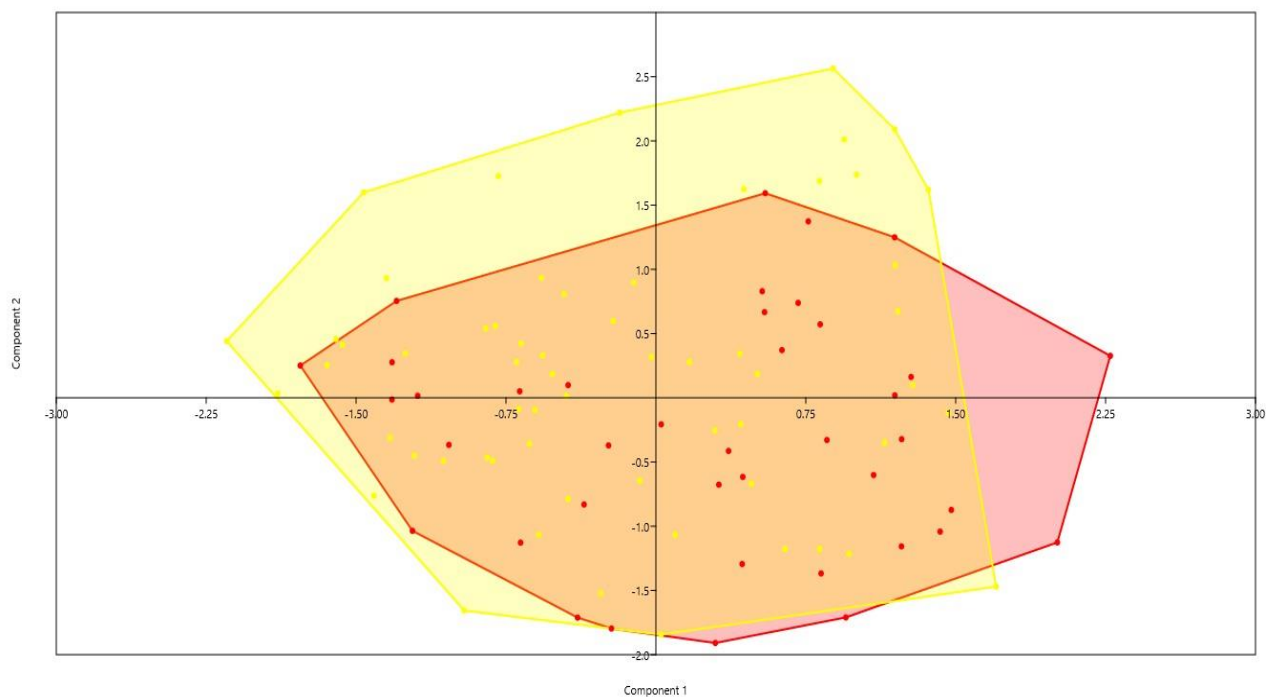


Figura 60 - Gráfico de dispersão para os PC1 e PC2, a vermelho estão representados os indivíduos do sexo masculino da CEIUC e a amarelo os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI.

3. Resultados

Na figura 61 podemos constatar o efeito que cada PC tem na variação da forma das escápulas. O PC1 é responsável por uma diminuição da largura na zona da fossa glenóideia. Na face lateral, da zona superior até metade, observamos um aumento do comprimento, enquanto que do meio para a zona inferior o aumento do comprimento continua mas é acompanhado de um alargamento. Na parte inferior da face medial inferimos um estreitamento, a meio começamos a observar um alargamento que se estende até à face superior. Na face superior percebemos que ocorre uma diminuição do comprimento. No PC2 analisamos uma diminuição da largura tanto nas faces lateral e medial como na região da fossa glenóideia. Nas faces superior e inferior observamos um aumento do comprimento das escápulas. O PC3 provoca um estreitamento desde a zona da fossa glenóideia até à região mais inferior da face lateral. Na face inferior e na região inferior da face medial podemos constatar um aumento do comprimento das escápulas, com um ligeiro alargamento na zona da face medial. Na restante face medial ocorre estreitamento nas regiões das fossas supraespinha e infraespinhosa. A face superior apresenta uma diminuição da largura. O PC4 provoca um alargamento e aumento de comprimento na cavidade glenóideia e em quase toda a face lateral. Apenas na região inferior da face lateral é perceptível um estreitamento. Na face inferior podemos inferir um aumento de comprimento acompanhado de um aumento de largura. Na face medial observamos uma diminuição da largura até à união da espinha escapular com a mesma e após essa zona ocorre um aumento de largura. Na face superior percebemos que acontece uma diminuição do comprimento escapular.

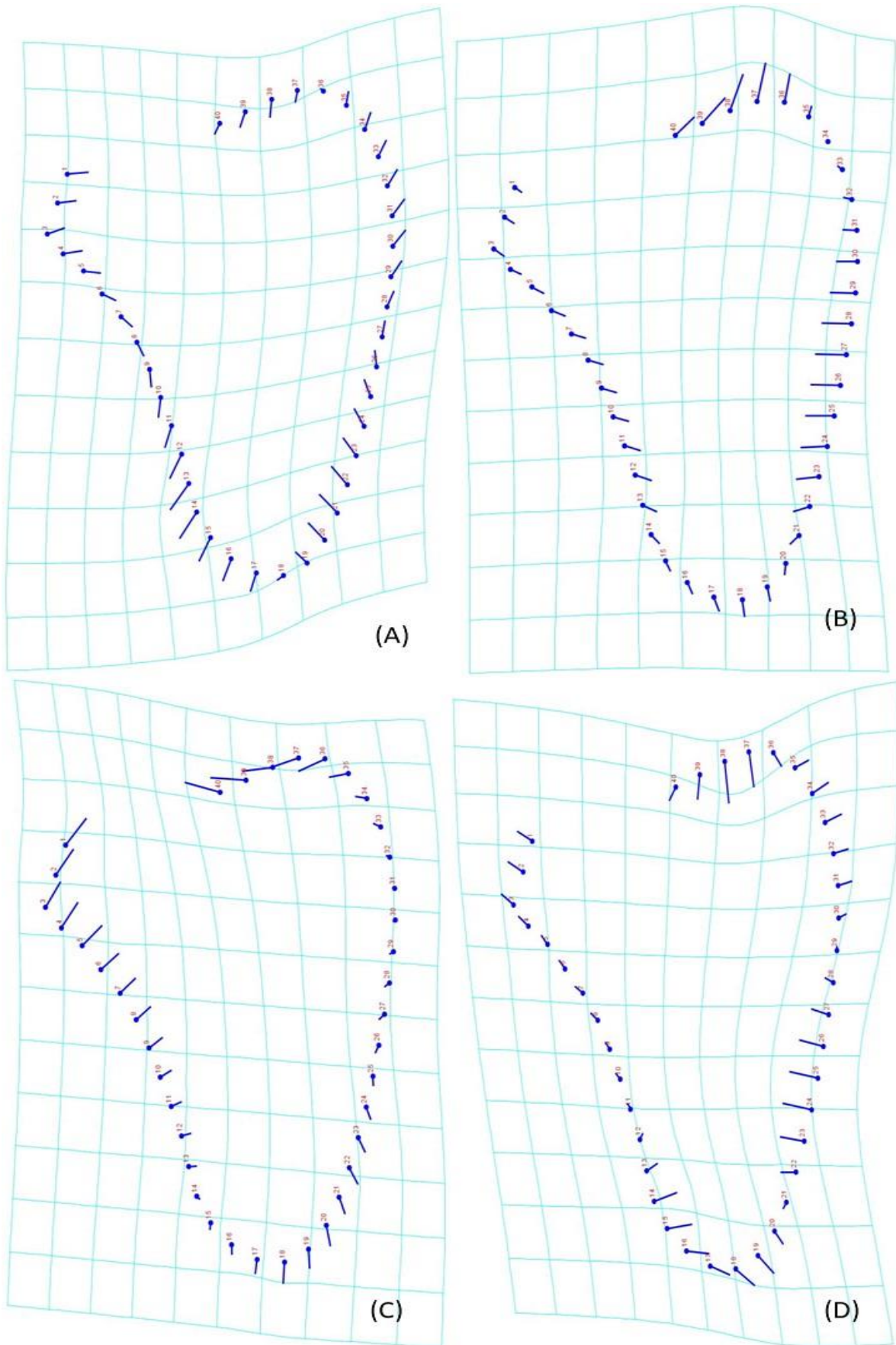


Figura 61 - Grelhas de transformação mostrando variação da forma nos PC1 (A), PC2 (B), PC3 (C) e PC4 (D) dos indivíduos do sexo masculino das colecções CEI/XXI e CEIUC.

3. Resultados

Para avaliar a existência de alometria foi feita uma regressão linear. Os resultados da regressão estão na tabela 26 e a figura 62 apresenta o seu gráfico. Com base nos resultados inferimos que não existe relação entre o tamanho e a forma (0,54%).

Tabela 26 - Resultado da regressão linear para os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI e CEIUC.

Soma dos quadrados	
Total SS:	0,55739811
Predicted SS:	0,0030334
Residual SS:	0,55436472
Relação tamanho-forma	
% predicted:	0,54%
Legenda: SS - soma dos quadrados	

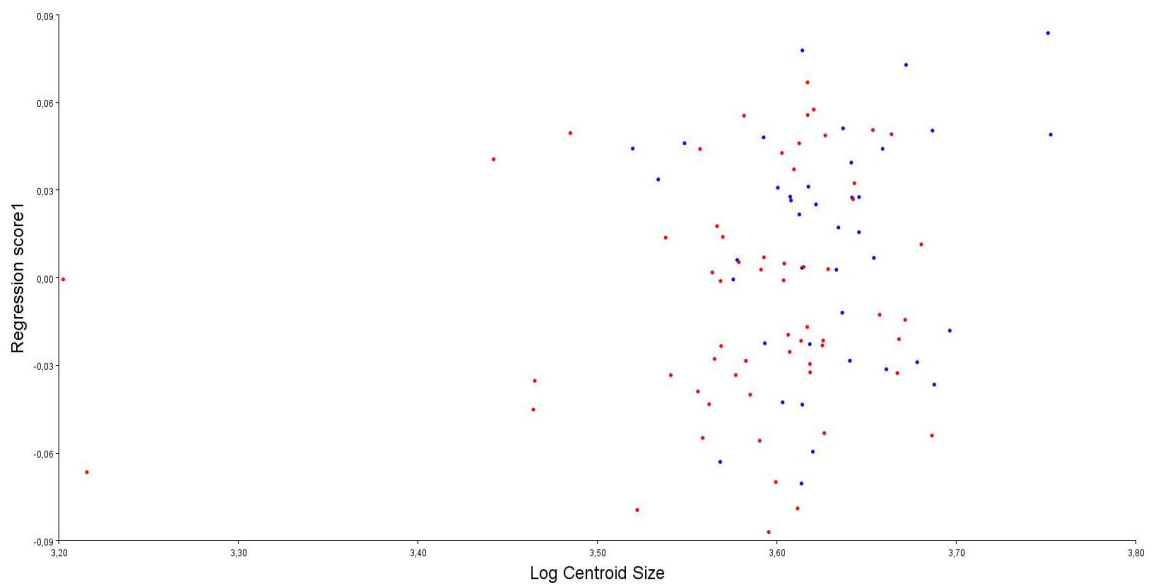


Figura 62 - Gráfico da regressão linear entre o logaritmo do tamanho do centróide e as coordenadas Procrustes. A vermelho estão representados os indivíduos do sexo masculino da CEI/XXI e a azul os indivíduos do sexo masculino da CEIUC.

4. Discussão

A estimativa da diagnose sexual a partir de restos esqueletizados é feita através da identificação e avaliação de indicadores que denotem diferenças entre os sexos. A expressão fenotípica de diferenças entre o sexo masculino e o feminino é denominada como dimorfismo sexual (Christensen et al., 2019; Mays, 2021). Estas diferenças são originadas na estrutura cromossômica, pela produção diferenciada de hormonas (Best et al., 2018; Rowbotham, 2016), funções biomecânicas (locomoção e parto) (Christensen et al., 2019; Dunsworth, 2020), factores ambientais, socioeconómicos e selecção sexual (Bigoni et al., 2010; Dunsworth, 2020). O dimorfismo sexual não se expressa de forma igual em todas as populações humanas, algumas possuem maior diferenciação entre sexos que outras, ou seja, indivíduos masculinos de uma população podem ser mais gráceis e de menores dimensões, podendo serem confundidos com indivíduos do sexo feminino de outra população e vice-versa (Bigoni et al., 2010; Christensen et al., 2019; Mays, 2021; Stock, 2020; White et al., 2011).

O dimorfismo sexual é expresso tanto em diferenças morfológicas como de tamanho (Papaioannou et al., 2012). Regra geral, os indivíduos do sexo masculino são maiores, mais robustos e possuem maior musculatura (Bigoni et al., 2010; Byers, 2016; White et al., 2011). Os seus ossos tendem a ser mais compridos, robustos e as ligações musculares são mais proeminentes quando comparados com indivíduos do sexo feminino (Christensen et al., 2019). Contudo, a variação individual, associada a um baixo grau de dimorfismo sexual, leva a que se encontrem indivíduos do sexo masculino mais pequenos e gráceis e indivíduos do sexo feminino maiores e mais robustos (White et al., 2011). Assim, podemos afirmar que existe sobreposição, sendo difícil diferenciar indivíduos do sexo masculino mais pequenos e indivíduos do sexo femininos maiores (Christensen et al., 2019).

Os ossos mais dimórficos e os mais utilizados na diagnose sexual são os coxais e o crânio (Best et al., 2018; Čechová et al., 2019; Krishan et al., 2016; Scholtz et al., 2010). Nos últimos anos, alguns estudos têm sugerido que os ossos longos produzem resultados mais exatos que o crânio na estimativa do sexo (Spradley & Jantz, 2011). Quando os coxais e o crânio não podem ser analisados, por estarem demasiado fragmentados ou ausentes, são utilizados outros, como os ossos longos (Cavaignac et al., 2016; Curate, Mestre, et al., 2021; Kranioti & Apostol, 2015), dentes (Peckmann, Logar, et al., 2016) e outros (Curate, d'Oliveira Coelho, et al., 2021; Navega et al., 2015; Papaioannou et al., 2012; Scholtz et al., 2010; Vassallo et al., 2021). Geralmente os coxais de indivíduos do sexo feminino são mais largos e baixos que a dos indivíduos do sexo

masculino, que são mais estreitos e altos (Byers, 2016; Dunsworth, 2020; Mays, 2021). Estas diferenças devem-se à actuação de hormonas sexuais, requisitos biomecânicos, selecção natural e outras pressões selectivas, no caso dos coxais femininos é uma adaptação para o parto, no caso dos indivíduos masculinos é uma adaptação para conseguir suportar o maior tamanho corporal (Best et al., 2018; Fischer & Mitteroecker, 2017).

O crânio tipicamente masculino é maior, mais robusto e com traços mais proeminentes que o crânio feminino (Mays, 2021; White et al., 2011). Estas diferenças estão relacionadas com a acção da hormona sexual masculina, a testosterona, selecção sexual e competição (Best et al., 2018; Mays, 2021). Com os ossos longos acontece o mesmo, os pertencentes a indivíduos do sexo masculino tendem a ser maiores e mais robustos, pelo que em média os indivíduos masculinos são maiores em estatura comparado com os femininos (Dunsworth, 2020). O crescimento dos ossos longos está relacionado com o nível de produção de um tipo de estrogénio (hormona sexual), o estradiol. Quando os níveis de estrogénios são baixos o crescimento ósseo é estimulado, ao aumentarem, na puberdade, ocorre a paragem do crescimento ósseo e a fusão dos centros de ossificação primários e secundários (Cutler, 1997; Rochira et al., 2015).

Mais recentemente têm-se a utilizado métodos de morfometria geométrica para avaliar o dimorfismo sexual. Este método permite obter uma descrição matemática de formas biológicas de acordo com a forma e tamanho do objecto (Savriama, 2018) e quantificar as suas semelhanças ou diferenças (Bookstein et al., 2003; Scholtz et al., 2010). Os resultados obtidos por este método são mais precisos, o que demonstra a sua objectividade (Bigoni et al., 2010). Os métodos de morfometria permitem avaliar a forma reduzindo a subjetividade associada aos métodos morfológicos (Pretorius et al., 2006) e podem ser usados para estudar superfícies curvas e com protuberâncias que muitas vezes são ignoradas pelos métodos tradicionais (Krishan et al., 2016; Manthey & Ousley, 2020).

Nem sempre os ossos mais dimórficos são encontrados ou estão nas condições de preservação ideais por isso as alternativas de análise devem ser exploradas (Figus et al., 2017; Sorrentino et al., 2020). Com base nessa premissa o nosso estudo baseou-se na análise de diferenças na forma das escápulas de indivíduos do sexo masculino e do feminino.

Em todas as áreas científicas é necessário garantir o rigor e a replicabilidade de procedimentos (von Cramon-Taubadel et al., 2007). O mesmo objecto não consegue ser analisado da mesma forma por diferentes investigadores. Nem objectos diferentes conseguem ser analisados de igual modo por um único ou por diferentes observadores. Em conjunto, essas

diferenças podem conduzir a inconsistências nos dados, o que pode levar a uma variação artificial e não biológica entre os espécimes (Fox et al., 2020). Essas diferenças têm que ser quantificadas de forma a garantir a viabilidade dos resultados (von Cramon-Taubadel et al., 2007). A área de antropologia forense não é exceção e a fiabilidade e replicabilidade dos métodos são de extrema importância devido às consequências legais de um exame forense (Rowbotham, 2016). Assim, foi testado um tipo de erro observacional, o erro intraobservador. O resultado obtido na análise do erro intraobservador garante a fiabilidade do método.

Em geral, os resultados das Procrustes ANOVA demonstram que existem diferenças significativas na forma e tamanho da escápula entre os sexos feminino e masculino. Na análise com os pontos anatómicos foram encontradas diferenças entre os indivíduos da CEI/XXI, CEIUC e na comparação entre ambas, tanto para o tamanho do centróide como para a avaliação da forma. Na análise com *semilandmarks* existem diferenças significativas para todos os grupos de indivíduos avaliados no que diz respeito ao tamanho do centróide. As diferenças da forma apenas não foram significativas na comparação entre os indivíduos da CEIUC.

Como acontece noutros ossos do esqueleto humano (Curate et al., 2017; Curate, Mestre, et al., 2021; Lescure et al., 2020; Spradley & Jantz, 2011; Steyn & Işcan, 1998), também as escápulas dos indivíduos do sexo masculino são maiores que as de indivíduos do sexo feminino. Na forma as maiores diferenças acontecem na curvatura das faces medial e lateral, maior em indivíduos do sexo masculino, e na projecção do ângulo inferior, mais agudo em indivíduos do sexo feminino. Ainda assim é preciso ter atenção que existe muita variação e sobreposição entre a forma de indivíduos de sexos distintos. No trabalho de Scholtz et al. (2010) encontramos uma descrição muito parecida, apenas no ângulo inferior se encontram diferenças. Neste estudo são os indivíduos do sexo masculino que têm o ângulo inferior mais projectado.

Para testar a utilidade do método na classificação de indivíduos não identificados com base na forma da escápula recorreremos à análise discriminante com validação cruzada. Com base nos valores obtidos, podemos inferir que a avaliação da forma escápula, com recurso a métodos morfométricos de pontos anatómicos e *semilandmarks*, não é um bom método para a diagnose sexual de indivíduos. Os resultados obtidos não garantem um intervalo de confiança seguro na estimativa do sexo. Assim a probabilidade de não acerto no sexo de um indivíduo desconhecido é muito elevada, por exemplo, na melhor das hipóteses teríamos uma probabilidade de erro nunca inferior a 35%. A título de exemplo, há vários métodos métricos e um morfométrico, com outros ossos de amostras portuguesas com percentagens de exactidão que variam entre os

80,1% para o crânio e os 97,3% para a pélvis (Ammer et al., 2019; Cunha, 1990; Curate et al., 2016; d'Oliveira Coelho & Curate, 2019; Navega et al., 2015).

Comparando a classificação dos nossos indivíduos, obtida com recurso à análise discriminante com validação cruzada, verificamos que os nossos valores diferem daqueles apresentados no estudo de Scholtz et al. (2010). No seu estudo apresentaram uma classificação correcta de 91,11% nos indivíduos do sexo feminino e 95,56% para os do masculino, recorrendo ao método de pontos anatómicos, e de 64,44% (para ambos os sexos) na análise com *semilandmarks*. Estes resultados não são originados com recurso à validação cruzada por isso devem ser tidos com cautela. No caso do presente estudo os valores sem validação cruzada foram de 72,04% (72,07% para indivíduos do sexo feminino e 72% para o masculino) na análise com pontos anatómicos. Na análise com *semilandmarks* foi de 89,1% (89,2% para o sexo feminino e 89% para o masculino).

A análise discriminante tende a aumentar a classificação dos indivíduos, pois força a inclusão de diferenças de forma que são negligenciáveis, ou mesmo ausentes (Viscosi & Cardini, 2011). Este problema é ultrapassado com recurso à validação cruzada. O método de validação cruzada usado foi o *Jackknife*, que omite um indivíduo da análise de cada vez e a sua classificação faz-se com as informações dos outros indivíduos (Zelditch et al., 2012). Os dados devem apenas ser considerados óptimos quando existem diferenças significativas e os valores da análise discriminante, com validação cruzada, são altos.

Até à data não se tem conhecimento de outros trabalhos de morfometria geométrica que avaliam o dimorfismo sexual com base na escápula. Existem outros trabalhos que avaliam outros ossos e que têm excelentes resultados. Best et al. (2018) obtiveram uma classificação correcta de 99% e 84% na avaliação das formas dos coxais e do crânio com validação cruzada. Ammer et al. (2019), na avaliação do dimorfismo sexual com base na forma da fossa olecraniana do úmero obteve, com validação cruzada, um valor de 94%.

No entanto, existem alguns estudos métricos baseados em medidas escapulares. Papaioannou et al. (2012), no estudo de uma população contemporânea grega, obtém uma classificação correcta, após validação cruzada, de 96%, utilizando uma fórmula que combina as medições do comprimento máximo da espinha escapular com a largura da cavidade glenóidea. No estudo de uma população moderna grega (Koukiasa et al., 2017), utilizando uma combinação de quatro medidas da escápula (altura e largura máximas do corpo da escápula e cavidade glenóidea), obteve um acerto de 91,4% com validação cruzada. Noutro estudo recorrendo à tomografia computadorizada (Ali et al., 2018), com as medidas do comprimento e largura máximos

da escápula conseguiram obter uma classificação correcta em 94,5% dos indivíduos da sua amostra. O trabalho de Vassallo et al. (2021), na avaliação de o dimorfismo da escápula de uma população moderna italiana obteve um valor de 92,5%, com validação cruzada, utilizando cinco medidas escapulares (largura e altura máximas do corpo escapular e da cavidade glenóidea e medição da largura máxima do acrómio).

As diferenças observadas na escápula entre os sexos, tal como para o resto do esqueleto podem ser explicadas por factores genéticos, desde logo com a estrutura cromossómica (XY e XX), a acção de hormonas em diferentes idades durante a puberdade e ainda com factores socioeconómicos e ambientais (Laurent et al., 2014; Ubelaker & DeGaglia, 2017). No sexo feminino, no período pré-puberdade, os níveis de estrogénios são mais elevados que em indivíduos do sexo masculino, o que explica o seu pico de crescimento começar mais cedo (Cutler, 1997). Como se inicia mais cedo, também acaba mais cedo e como já foi referido anteriormente, elevados níveis de estrogénios levam à cessação do crescimento ósseo, estimulando a fusão dos mesmos. Quando em idade adulta, as escápulas de indivíduos do sexo feminino tendem a ser mais gráceis (Papaioannou et al., 2012). No caso do sexo masculino, durante a puberdade têm elevados níveis de testosterona o que estimula o crescimento ósseo, o aumento da densidade mineral dos ossos e a formação de tecido muscular (Callewaert et al., 2010).

Existem alguns trabalhos onde são avaliados o tamanho e forma das escápulas. Hrdlička (1942b) afirma que o crescimento da escápula é afectado pelo desenvolvimento muscular e pela actividade desempenhada pelo indivíduo. Scott (1957), confirma esta hipótese, afirmando que um osso que esteja envolvido por um grande músculo tem o seu crescimento diminuído. Não é apenas o tamanho a sofrer alterações, também a forma dos ossos é afectada pelo maior desenvolvimento de tecido muscular e pela actividade humana (Pomeroy & Zakrzewski, 2009). O trabalho de Vassallo et al. (2021) comprova as hipóteses de Hrdlička (1942b) e Scott (1957). Neste trabalho, a avaliação sexual, realizada com medições de escápulas direitas, diminuiu em 9% a taxa de acerto em relação à realizada com medidas de escápulas esquerdas. Esta diferença pode ser explicada pelo maior tecido muscular associado ao ombro direito, devido às actividades laborais dos indivíduos, já que apenas uma pequena parte da população ser esquerdina – é uma característica genética recessiva (Corballis, 1997).

Com base no nosso estudo podemos afirmar que a análise do tamanho será um melhor indicador para a avaliação do dimorfismo sexual do que a forma da escápula. Nos nossos testes todas as avaliações tendo em conta o tamanho do centróide mostraram diferenças significativas,

o que não aconteceu para a forma. Mesmo que a actividade física possa levar a uma aproximação da forma entre ambos os sexos, os efeitos da estrutura cromossómica e da acção das hormonas faz com que as diferenças sejam mais óbvias em relação ao tamanho.

Também foi realizada uma comparação entre indivíduos do mesmo sexo, mas de diferentes colecções. O objectivo passou por avaliar se existiam diferenças de uma colecção para a outra que pudessem revelar alguma tendência secular. Os resultados revelam que não existem diferenças significativas para o tamanho do centróide dos indivíduos do sexo feminino. Assim, verificaram-se apenas diferenças significativas para a forma entre os indivíduos do sexo feminino. Para os indivíduos do sexo masculino verificaram-se diferenças tanto para a forma como para o tamanho do centróide. Os indivíduos masculinos da CEIUC eram, em média, maiores que os da CEI/XXI.

Parece existir uma tendência secular entre os indivíduos das duas colecções, separadas temporalmente por uma geração. A tendência secular é definida como as alterações biológicas que ocorrem durante décadas ou gerações, em populações geneticamente idênticas (Hawley et al., 2009; Roche, 1979). O tipo de alterações seculares melhores documentadas são o aumento da estatura e a ocorrência precoce da primeira menstruação (Kim et al., 2008). Estas tendências estão associadas a uma melhoria do ambiente socioeconómico das populações, que permitiu reduzir os efeitos do stress nutricional e ambiental (Grine et al., 2020; Langley & Jantz, 2020). Desde o final do século XIX que uma tendência de aumento da estatura e da ocorrência precoce da primeira menstruação pode ser observada na maior parte dos países europeus (Langley & Jantz, 2020; Padez, 2007).

Ainda que a tendência a nível global seja para o aumento da estatura esta não é universal nem tem as mesmas taxas de evolução para todas as populações (Grine et al., 2020). Assim podemos ter tendências positivas (Bentham et al., 2016; Jantz et al., 2016), ausência de tendência (Owen et al., 2006) e tendências negativas (Shaper et al., 1969; Tobias, 1985). Outros estudos documentam que pode haver diferentes tendências a ocorrer ao mesmo tempo, na mesma população (Jantz & Meadows Jantz, 2000, 2016).

Em Portugal, observamos um aumento da estatura desde 1904 (Padez, 2003, 2007). Ainda assim só nos anos 60 do século XX é que as condições de vida começam a melhorar e se observa um maior crescimento. Na altura Portugal tinha a maior percentagem de jovens da Europa, a menor proporção de pessoas idosas, as taxas de mortalidades neonatal e infantil, assim como a taxa de natalidade eram as mais altas (Padez, 2003). Actualmente, a taxa de crescimento populacional é das mais baixas, a percentagem de jovens é das mais baixas da

Europa, a percentagem de idosos é das mais altas, a esperança média de vida aumentou para a média europeia, a taxa de natalidade é das mais baixas e a taxa de mortalidade infantil situa-se abaixo da média europeia (dados disponíveis no portal: <https://www.pordata.pt/Tema/Europa/Popula%C3%A7%C3%A3o-25>).

Foi a partir de 1970 que houve o maior aumento da estatura, principalmente em distritos que tinham os mais baixos resultados, o que indica que houve um melhoramento das condições de vida (Padez, 2003). Podemos inferir que houve um melhoramento da alimentação, com a ingestão de mais calorias, a criação de um sistema universal de saúde, que diminuiu a taxa de mortalidade infantil e neonatal e aumentou a esperança média de vida e uma melhoria da economia e das condições habitacionais (Padez, 2007).

Apesar de Portugal mostrar uma tendência positiva desde o princípio do século XX esta não foi sempre constante (Padez, 2003). A média de idades da amostra situa-se nos 81 anos, o que indica que o nascimento e desenvolvimento destes indivíduos acontece antes de 1970, antes do desenvolvimento social e económico. Num período onde havia um défice de ingestão de calorias, com pouco acesso a cuidados médicos e mais sujeitos a doenças. Outra hipótese será tratar-se um período em que houve uma tendência positiva no aumento da estatura, mas houve uma tendência negativa no crescimento de outros ossos que não intervêm no crescimento em altura. Langley & Cridlin (2016) e Jantz & Meadows Jantz (2017), por exemplo, documentam uma tendência negativa para o comprimento da clavícula e do úmero em populações europeias e americanas. Como estes ossos articulam com a escápula, formando a cintura escapular, poderá haver aqui uma tendência negativa também nas dimensões do osso que estudamos.

Em suma, as diferenças encontradas entre os indivíduos das duas coleções podem resultar do período em que nasceram e cresceram, em Portugal antes da década de 1970, período esse que impactou o seu crescimento e desenvolvimento ósseo. Outra explicação pode resultar da tendência de diminuição dos ossos que formam a cintura escapular, clavícula e úmero, que por pressões de ordem biomecânica provoquem também a diminuição das dimensões da escápula.

5. Conclusão

O nosso trabalho comprova que técnicas de morfometria geométrica permitem identificar dimorfismo sexual na escápula e podem ser utilizadas no estudo da sua forma. As maiores variações na forma escapular, entre os indivíduos dos sexos masculino e feminino, verificaram-se no grau de curvatura das faces medial e lateral, mais curvas em indivíduos do sexo masculino, e na projecção do ângulo inferior, maior em indivíduos do sexo feminino. Apesar da apresentação de resultados que confirmam o dimorfismo sexual, as técnicas de morfometria geométrica utilizadas falham em prever o sexo de indivíduos não identificados a partir da forma escapular. A diferença de valores para a classificação dos indivíduos com base na sua forma apresenta valores distintos entre o método com pontos anatómicos e *semilandmarks*, 72,04% e 89,10%, respectivamente. Podemos teorizar que as diferenças se devem ao menor número de pontos anatómicos escolhidos, sete, em comparação com o número de pontos escolhidos para a técnica com *semilandmarks*, quarenta. Embora possa fazer sentido, a classificação com recurso a validação cruzada acaba por provar o contrário, os valores de acerto da classificação nas duas técnicas baixam para valores muito semelhantes, 66,82% para os pontos anatómicos e 65,88% para as *semilandmarks*. De modo a melhorar estes resultados e a quantificação da forma, sugerimos fazer a avaliação da escápula com uma combinação de pontos anatómicos e *semilandmarks*. Com este método combinaríamos, numa análise, informações contidas em pontos, curvas e superfícies e, como foi possível inferir, a informação analisada com *semilandmarks* tem um grande valor sobre a sua forma.

A observação de tendência secular é surpreendente, pois os indivíduos das duas colecções estão cronologicamente separados apenas por uma geração. A existência e criação de colecções osteológicas com indivíduos identificados são de grande importância para a Antropologia Forense. Se existe uma grande variedade de dados sobre várias populações por todo o mundo será pela existência deste tipo de colecções que facilitam a sua recolha e análise. Com base nessas recolhas e análises são desenvolvidos vários métodos de estimativa dos parâmetros de perfil biológico que ajudam na identificação de pessoas não identificadas em vários cenários. Na sua maioria, as colecções osteológicas são compostas por indivíduos de populações antigas ou contemporâneas. Os resultados que obtivemos servem de chamada de atenção para o desenvolvimento de métodos neste tipo de colecções, já que, os métodos de diagnose sexual, desenvolvidos em populações mais antigas, podem apresentar menor fiabilidade quando utilizados na estimativa sexual de indivíduos não identificados que

5. Conclusão

pertencem a uma população moderna. Caso se continuem a usar os mesmos métodos, as funções discriminantes devem ter factorizadas os efeitos da tendência secular. Deste modo estaremos a minimizar o impacto da tendência secular na avaliação do sexo de indivíduos não identificados pertencentes a uma população moderna.

6. Referências bibliográficas

Ali, Z., Cox, C., Stock, M. K., Zandee van Rilland, E. E., Rubio, A., & Fowler, D. R. (2018). Estimating Sex Using Metric Analysis of the Scapula by Postmortem Computed Tomography. *Journal of Forensic Sciences*, *63*(5), 1346–1349. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13751>

Ammer, S., d'Oliveira Coelho, J., & Cunha, E. M. (2019). Outline Shape Analysis on the Trochlear Constriction and Olecranon Fossa of the Humerus: Insights for Sex Estimation and a New Computational Tool. *Journal of Forensic Sciences*, *64*(6), 1788–1795. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14096>

Attia, M. H., & Aboulnoor, B. A. E.-S. (2020). Tailored logistic regression models for sex estimation of unknown individuals using the published population data of the humeral epiphyses. *Legal Medicine*, *45*, 101708. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101708>

Benítez, H. A., Püschel, T., Lemic, D., Čačija, M., Kozina, A., & Bažok, R. (2014). Ecomorphological Variation of the Wireworm Cephalic Capsule: Studying the Interaction of Environment and Geometric Shape. *PLOS ONE*, *9*(7), e102059. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102059>

Bentham, J., Di Cesare, M., Stevens, G. A., Zhou, B., Bixby, H., Cowan, M., Fortunato, L., Bennett, J. E., Danaei, G., Hajifathalian, K., Lu, Y., Riley, L. M., Laxmaiah, A., Kontis, V., Paciorek, C. J., Ezzati, M., Abdeen, Z. A., Hamid, Z. A., Abu-Rmeileh, N. M., ... Hobbs, M. (2016). A century of trends in adult human height. *ELife*, *5*(2016JULY). <https://doi.org/10.7554/eLife.13410.001>

Berg, G. E. (2017). Sex Estimation of Unknown Human Skeletal Remains. In N. R. Langley & M. A. Tersigni-Tarrant (Eds.), *Forensic Anthropology A Comprehensive Introduction* (2nd ed., pp. 143–162). CRC Press.

Best, K. C., Garvin, H. M., & Cabo, L. L. (2018). An Investigation into the Relationship between Human Cranial and Pelvic Sexual Dimorphism. *Journal of Forensic Sciences*, *63*(4), 990–1000. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13669>

Bethard, J. D., & VanSickle, C. (2020). Applications of sex estimation in paleoanthropology, bioarchaeology, and forensic anthropology. In A. R. Klates (Ed.), *Sex Estimation of the Human Skeleton: History, Methods, and Emerging Techniques* (1st Edition, pp. 25–34). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03550-4>

Bigoni, L., Velemínská, J., & Brůzek, J. (2010). Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. *Homo*:

Internationale Zeitschrift Fur Die Vergleichende Forschung Am Menschen, 61(1), 16–32.
<https://doi.org/10.1016/j.jchb.2009.09.004>

Boldsen, J. L., Milner, G. R., & Boldsen, S. K. (2015). Sex estimation from modern American humeri and femora, accounting for sample variance structure. *American Journal of Physical Anthropology*, 158(4), 745–750. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22812>

Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511573064>

Bookstein, F. L., Gunz, P., Mitteroecker, P., Prossinger, H., Schaefer, K., & Seidler, H. (2003). Cranial integration in Homo: Singular warps analysis of the midsagittal plane in ontogeny and evolution. *Journal of Human Evolution*, 44(2), 167–187. [https://doi.org/10.1016/s0047-2484\(02\)00201-4](https://doi.org/10.1016/s0047-2484(02)00201-4)

Brůžek, J. (2002). A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(2), 157–168. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10012>

Brůžek, J., Santos, F., Dutailly, B., Murail, P., & Cunha, E. (2017). Validation and reliability of the sex estimation of the human os coxae using freely available DSP2 software for bioarchaeology and forensic anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 164(2), 440–449. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23282>

Byers, S. N. (2016). *Introduction to Forensic Anthropology* (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315642031>

Callewaert, F., Sinnesael, M., Gielen, E., Boonen, S., & Vanderschueren, D. (2010). Skeletal sexual dimorphism: Relative contribution of sex steroids, GH-IGF1, and mechanical loading. *The Journal of Endocrinology*, 207(2), 127–134. <https://doi.org/10.1677/JOE-10-0209>

Cappella, A., Gibelli, D., Vitale, A., Zago, M., Dolci, C., Sforza, C., & Cattaneo, C. (2020). Preliminary study on sexual dimorphism of metric traits of cranium and mandible in a modern Italian skeletal population and review of population literature. *Legal Medicine (Tokyo, Japan)*, 44, 101695. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101695>

Cavaignac, E., Savall, F., Faruch, M., Reina, N., Chiron, P., & Telmon, N. (2016). Geometric morphometric analysis reveals sexual dimorphism in the distal femur. *Forensic Science International*, 259, 246.e1-5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.12.010>

Čechová, M., Dupej, J., Brůžek, J., Bejdová, Š., Horák, M., & Velemínská, J. (2019). Sex estimation using external morphology of the frontal bone and frontal sinuses in a contemporary Czech

population. *International Journal of Legal Medicine*, 133(4), 1285–1294. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02063-8>

Christensen, A. M., Passalacqua, N. V., & Bartelink, E. J. (2019). Sex estimation. In A. M. Christensen, N. V. Passalacqua, & E. J. Bartelink (Eds.), *Forensic Anthropology (Second Edition)* (pp. 243–270). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815734-3.00008-7>

Corballis, M. C. (1997). The genetics and evolution of handedness. *Psychological Review*, 104(4), 714–727. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.104.4.714>

Cunha, E. (1990). Cálculo de funções discriminantes para a diagnose sexual do crânio. *Antropologia Portuguesa*, 8, 17–37.

Cunha, E., & Wasterlain, S. (2007). The Coimbra identified osteological collections. In G. Grupe & J. Peters (Eds.), *Skeletal series and their socio-economic context* (pp. 23–33). Rahden/Westf: M. Leidorf.

Cunningham, C., Scheuer, L., & Black, S. (2016). The Pectoral Girdle. In C. Cunningham, L. Scheuer, & S. Black (Eds.), *Developmental Juvenile Osteology* (pp. 253–282). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382106-5.00009-8>

Curate, F., Coelho, J., Gonçalves, D., Coelho, C., Ferreira, M. T., Navega, D., & Cunha, E. (2016). A method for sex estimation using the proximal femur. *Forensic Science International*, 266, 579.e1-579.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.06.011>

Curate, F., d'Oliveira Coelho, J., & Silva, A. M. (2021). CalcTalus: An online decision support system for the estimation of sex with the calcaneus and talus. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(5), 74–74. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01327-y>

Curate, F., Mestre, F., & Garcia, S. J. (2021). Sex assessment with the radius in Portuguese skeletal populations (late 19th – early to mid 20th centuries). *Legal Medicine*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101790>

Curate, F., Umbelino, C., Perinha, A., Nogueira, C., Silva, A. M., & Cunha, E. (2017). Sex determination from the femur in Portuguese populations with classical and machine-learning classifiers. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 52, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.08.011>

Cutler, G. B. (1997). The role of estrogen in bone growth and maturation during childhood and adolescence. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 61(3), 141–144. [https://doi.org/10.1016/S0960-0760\(97\)80005-2](https://doi.org/10.1016/S0960-0760(97)80005-2)

Cuzzullin, M. C., Curate, F., Freire, A. R., Costa, S. T., Prado, F. B., Daruge Junior, E., Cunha, E., & Rossi, A. C. (2020). Validation of anthropological measures of the human femur for sex estimation in Brazilians. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1729411>

Dayal, M. R., Spocter, M. A., & Bidmos, M. A. (2008). An assessment of sex using the skull of black South Africans by discriminant function analysis. *Homo: Internationale Zeitschrift Fur Die Vergleichende Forschung Am Menschen*, 59(3), 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2007.01.001>

d'Oliveira Coelho, J. (2015). *Unwarping heated bones: A quantitative analysis of heat-induced skeletal deformations using 3D geometric morphometrics*. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/33311>

d'Oliveira Coelho, J., & Curate, F. (2019). CADOES: An interactive machine-learning approach for sex estimation with the pelvis. *Forensic Science International*, 302, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109873>

Drake, A. G., & Klingenberg, C. P. (2008). The pace of morphological change: Historical transformation of skull shape in St Bernard dogs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1630), 71–76. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1169>

Dryden, I. L., & Mardia, K. V. (2016). *Statistical Shape Analysis with Applications in R* (Second edition). John Wiley and Sons Ltd.

Dunsworth, H. M. (2020). Expanding the evolutionary explanations for sex differences in the human skeleton. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 29(3), 108–116. <https://doi.org/10.1002/evan.21834>

Escoval, I. I. S. (2016). *Análise métrica do dimorfismo sexual da escápula na população portuguesa: Um novo método de diagnose sexual*. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/33811>

Espinoza-Donoso, S., Angulo-Bedoya, M., Lemic, D., & Benítez, H. (2020). Assessing the influence of allometry on sexual and non-sexual traits: An example in *Cicindelidia trifasciata* (Coleoptera: Cicindelinae) using geometric morphometrics. *Zoologischer Anzeiger*, 287, 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2020.05.009>

Ferreira, M. T., Coelho, C., Makhoul, C., Navega, D., Gonçalves, D., Cunha, E., & Curate, F. (2021). New data about the 21st Century Identified Skeletal Collection (University of Coimbra, Portugal).

International Journal of Legal Medicine, 135(3), 1087–1094. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02399-6>

Ferreira, M. T., Vicente, R., Navega, D., Gonçalves, D., Curate, F., & Cunha, E. (2014). A new forensic collection housed at the University of Coimbra, Portugal: The 21st century identified skeletal collection. *Forensic Science International*, 245, 202.e1-5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.09.021>

Figus, C., Traversari, M., Scalise, L. M., Oxilia, G., Vazzana, A., Buti, L., Sorrentino, R., Gruppioni, G., & Benazzi, S. (2017). The study of commingled non-adult human remains: Insights from the 16th–18th centuries community of Roccapelago (Italy). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14, 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.06.023>

Fischer, B., & Mitteroecker, P. (2017). Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Pelvis. *The Anatomical Record*, 300(4), 698–705. <https://doi.org/10.1002/ar.23549>

Fox, N. S., Veneracion, J. J., & Blois, J. L. (2020). Are geometric morphometric analyses replicable? Evaluating landmark measurement error and its impact on extant and fossil *Microtus* classification. *Ecology and Evolution*, 10(7), 3260–3275. <https://doi.org/10.1002/ece3.6063>

Fruciano, C. (2016). Measurement error in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution*, 226(3), 139–158. <https://doi.org/10.1007/s00427-016-0537-4>

Frutos, L. R. (2002). Determination of sex from the clavicle and scapula in a Guatemalan contemporary rural indigenous population. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 23(3), 284–288. <https://doi.org/10.1097/00000433-200209000-00017>

Galeta, P., & Brůžek, J. (2020). Sex estimation using continuous variables: Problems and principles of sex classification in the zone of uncertainty. In Z. Obertova, A. Stewart, & C. Cattaneo (Eds.), *Statistics and Probability in Forensic Anthropology* (1st Edition, pp. 155–182). Academic Press.

Gama, I., Navega, D., & Cunha, E. (2015). Sex estimation using the second cervical vertebra: A morphometric analysis in a documented Portuguese skeletal sample. *International Journal of Legal Medicine*, 129(2), 365–372. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1083-0>

Garvin, H. M., & Ruff, C. B. (2012). Sexual dimorphism in skeletal browridge and chin morphologies determined using a new quantitative method. *American Journal of Physical Anthropology*, 147(4), 661–670. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22036>

- Garvin, H. M., Sholts, S. B., & Mosca, L. A. (2014). Sexual dimorphism in human cranial trait scores: Effects of population, age, and body size. *American Journal of Physical Anthropology*, 154(2), 259–269. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22502>
- Gillet, C., Costa-Mendes, L., Rérolle, C., Telmon, N., Maret, D., & Savall, F. (2020). Sex estimation in the cranium and mandible: A multislice computed tomography (MSCT) study using anthropometric and geometric morphometry methods. *International Journal of Legal Medicine*, 134(2), 823–832. PRIME.
- Gower, J. C. (1975). Generalized procrustes analysis. *Psychometrika*, 40(1), 33–51. <https://doi.org/10.1007/BF02291478>
- Graves, W. W. (1921). The types of scapulæ. A comparative study of some correlated characters in human scapulæ. *American Journal of Physical Anthropology*, 4(2), 111–128. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330040202>
- Graw, M., Czarnetzki, A., & Haffner, H. T. (1999). The form of the supraorbital margin as a criterion in identification of sex from the skull: Investigations based on modern human skulls. *American Journal of Physical Anthropology*, 108(1), 91–96. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199901\)108:1<91::AID-AJPA5>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199901)108:1<91::AID-AJPA5>3.0.CO;2-X)
- Grine, F. E., Lee, C., Mongle, C. S., Billings, B. K., Wallace, I. J., & Mngomezulu, V. (2020). Secular trends in cranial size and shape among black South Africans over the late 19th and 20th centuries. *Annals of Human Biology*, 47(5), 446–456. <https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1783361>
- Gualdi-Russo, E. (2007). Sex determination from the talus and calcaneus measurements. *Forensic Science International*, 171(2–3), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.10.014>
- Gunz, P. (2020). Geometric Morphometrics. In K. Britton & M. P. Richards (Eds.), *Archaeological Science: An Introduction* (pp. 198–212). Cambridge University Press; Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/9781139013826.009>
- Gunz, P., & Mitteroecker, P. (2013). Semilandmarks: A method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix It. J. Mamm.*, 24(1), 103–109. <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6292>
- Hawley, N. L., Rousham, E. K., Norris, S. A., Pettifor, J. M., & Cameron, N. (2009). Secular trends in skeletal maturity in South Africa: 1962–2001. *Annals of Human Biology*, 36(5), 584–594. <https://doi.org/10.1080/03014460903136822>

- Hrdlička, A. (1942a). The adult scapula. Additional observations and measurements. *American Journal of Physical Anthropology*, 29(1), 363–415.
- Hrdlička, A. (1942b). The scapula: Visual observations. *American Journal of Physical Anthropology*, 29(1), 73–94. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330290107>
- Hughes, C. E., Juarez, C. A., Hughes, T. L., Galloway, A., Fowler, G., & Chacon, S. (2011). A simulation for exploring the effects of the ‘trait list’ method’s subjectivity on consistency and accuracy of ancestry estimations. *Journal of Forensic Sciences*, 56(5), 1094–1106. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01875.x>
- Jantz, R. L., Jantz, L. M., & Devlin, J. L. (2016). Secular Changes in the Postcranial Skeleton of American Whites. *Human Biology*, 88(1), 65–75. <https://doi.org/10.13110/humanbiology.88.1.0065>
- Jantz, R. L., & Meadows Jantz, L. (2000). Secular change in craniofacial morphology. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 12(3), 327–338. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6300\(200005/06\)12:3<327::AID-AJHB3>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(200005/06)12:3<327::AID-AJHB3>3.0.CO;2-1)
- Jantz, R. L., & Meadows Jantz, L. (2016). The Remarkable Change in Euro-American Cranial Shape and Size. *Human Biology*, 88(1), 56–64. <https://doi.org/10.13110/humanbiology.88.1.0056>
- Jantz, R. L., & Meadows Jantz, L. (2017). Limb bone allometry in modern Euro-Americans. *American Journal of Physical Anthropology*, 163(2), 252–263. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23203>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kazzazi, S. M., & Kranioti, E. F. (2018). Sex estimation using cervical dental measurements in an archaeological population from Iran. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10(2), 439–448. <https://doi.org/10.1007/s12520-016-0363-7>
- Kim, J.-Y., Oh, I.-H., Lee, E.-Y., Choi, K.-S., Choe, B.-K., Yoon, T.-Y., Lee, C.-G., Moon, J.-S., Shin, S.-H., & Choi, J.-M. (2008). Anthropometric changes in children and adolescents from 1965 to 2005 in Korea. *American Journal of Physical Anthropology*, 136(2), 230–236. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20801>

- Kimmerle, E. H., Ross, A., & Slice, D. (2008). Sexual Dimorphism in America: Geometric Morphometric Analysis of the Craniofacial Region*. *Journal of Forensic Sciences*, *53*(1), 54–57. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00627.x>
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, *11*(2), 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- Klingenberg, C. P. (2013). Visualizations in geometric morphometrics: How to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix It. J. Mamm.*, *24*(1), 15–24. <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-7691>
- Klingenberg, C. P. (2020). Walking on Kendall's Shape Space: Understanding Shape Spaces and Their Coordinate Systems. *Evolutionary Biology*, *47*(4), 334–352. <https://doi.org/10.1007/s11692-020-09513-x>
- Klingenberg, C. P., Barluenga, M., & Meyer, A. (2002). Shape analysis of symmetric structures: Quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, *56*(10), 1909–1920. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00117.x>
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric Morphometrics of Developmental Instability: Analyzing Patterns of Fluctuating Asymmetry with Procrustes Methods. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, *52*(5), 1363–1375. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1998.tb02018.x>
- Koukiasa, A. E., Eliopoulos, C., & Manolis, S. K. (2017). Biometric sex estimation using the scapula and clavicle in a modern Greek population. *Anthropologischer Anzeiger; Bericht Über Die Biologisch-Anthropologische Literatur*, *74*(3), 241–246. <https://doi.org/10.1127/anthranz/2017/0658>
- Kovarovic, K., Aiello, L. C., Cardini, A., & Lockwood, C. A. (2011). Discriminant function analyses in archaeology: Are classification rates too good to be true? *Journal of Archaeological Science*, *38*(11), 3006–3018. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.06.028>
- Kranioti, E. F., & Apostol, M. A. (2015). Sexual dimorphism of the tibia in contemporary Greeks, Italians, and Spanish: Forensic implications. *International Journal of Legal Medicine*, *129*(2), 357–363. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1045-6>

- Kranioti, E. F., & Michalodimitrakis, M. (2009). Sexual Dimorphism of the Humerus in Contemporary Cretans—A Population-Specific Study and a Review of the Literature*. *Journal of Forensic Sciences*, 54(5), 996–1000. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01103.x>
- Krishan, K., Chatterjee, P. M., Kanchan, T., Kaur, S., Baryah, N., & Singh, R. K. (2016). A review of sex estimation techniques during examination of skeletal remains in forensic anthropology casework. *Forensic Science International*, 261, 165.e1-8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.007>
- Langley, N. R., & Cridlin, S. (2016). Changes in Clavicle Length and Maturation in Americans: 1840-1980. *Human Biology*, 88(1), 76–83. <https://doi.org/10.13110/humanbiology.88.1.0076>
- Langley, N. R., & Jantz, R. L. (2020). Secular change. In A. R. Klales (Ed.), *Sex Estimation of the Human Skeleton* (1st Edition, pp. 295–306). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815767-1.00018-3>
- Langley, N. R., & Tersigni-Tarrant, M. A. (2017). *Forensic Anthropology: A Comprehensive Introduction* (Second Edition). CRC Press.
- Laurent, M., Antonio, L., Sinnesael, M., Dubois, V., Gielen, E., Classens, F., & Vanderschueren, D. (2014). Androgens and estrogens in skeletal sexual dimorphism. *Asian Journal of Andrology*, 16(2), 213–222. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.122356>
- Lescure, J., Ardevines, C., Becerra, P., & Marrodán, M. D. (2020). New random generalized linear model for sex determination based on cranial measurements. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(8), 168. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01145-8>
- Macaluso, P. J., & Lucena, J. (2014). Estimation of sex from sternal dimensions derived from chest plate radiographs in contemporary Spaniards. *International Journal of Legal Medicine*, 128(2), 389–395. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0910-z>
- Manthey, L., & Ousley, S. D. (2020). Geometric morphometrics. In Z. Obertová, A. Stewart, & C. Cattaneo (Eds.), *Statistics and Probability in Forensic Anthropology* (1st Edition, pp. 289–298). Academic Press.
- Marlow, E. J., & Pastor, R. F. (2011). Sex determination using the second cervical vertebra—A test of the method. *Journal of Forensic Sciences*, 56(1), 165–169. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01543.x>
- Mays, S. (2021). *The Archaeology of Human Bones* (Third Edition). Routledge.

- Mitteroecker, P., & Gunz, P. (2009). Advances in Geometric Morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2), 235–247. <https://doi.org/10.1007/s11692-009-9055-x>
- Mitteroecker, P., Gunz, P., Windhager, S., & Schaefer, K. (2013). A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 59–66. <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6369>
- Murail, P., Brůžek, J., Houët, F., & Cunha, E. (2005). DSP: A tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bulletins et Mémoires de La Société d'Anthropologie de Paris. BMSAP*, 17(3–4), 167–176. <https://doi.org/10.4000/bmsap.1157>
- Navega, D., Vicente, R., Vieira, D. N., Ross, A. H., & Cunha, E. (2015). Sex estimation from the tarsal bones in a Portuguese sample: A machine learning approach. *International Journal of Legal Medicine*, 129(3), 651–659. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1070-5>
- Osis, S. T., Hettinga, B. A., Macdonald, S. L., & Ferber, R. (2015). A novel method to evaluate error in anatomical marker placement using a modified generalized Procrustes analysis. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 18(10), 1108–1116. <https://doi.org/10.1080/10255842.2013.873034>
- Owen, T., Henneberg, M., & Pate, F. (2006). Aboriginal stature in South Australia: A 10,000-year history. *Prz. Antropol.–Anthropol. Rev*, 69, 3–13.
- Özer, B. K., Özer, İ., Sağır, M., & Güleç, E. (2014). Sex determination using the tibia in an ancient Anatolian population. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 14(2), 329–336.
- Padez, C. (2003). Secular trend in stature in the Portuguese population (1904–2000). *Annals of Human Biology*, 30(3), 262–278. <https://doi.org/10.1080/0301446031000064530>
- Padez, C. (2007). Secular Trend in Portugal. *Journal of Human Ecology*, 22(1), 15–22. <https://doi.org/10.1080/09709274.2007.11905993>
- Papaioannou, V. A., Kranioti, E. F., Joveneaux, P., Nathena, D., & Michalodimitrakis, M. (2012). Sexual dimorphism of the scapula and the clavicle in a contemporary Greek population: Applications in forensic identification. *Forensic Science International*, 217(1–3), 231.e1–7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.11.010>
- Paulis, M. G., & Abu Samra, M. F. (2015). Estimation of sex from scapular measurements using chest CT in Egyptian population sample. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 3(3), 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2015.07.005>

- Peckmann, T. R., Logar, C., Garrido-Varas, C. E., Meek, S., & Pinto, X. T. (2016). Sex determination using the mesio-distal dimension of permanent maxillary incisors and canines in a modern Chilean population. *Science & Justice*, *56*(2), 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.10.002>
- Peckmann, T. R., Meek, S., Dilkie, N., & Rozendaal, A. (2016). Determination of sex from the patella in a contemporary Spanish population. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, *44*, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2016.09.007>
- Petaros, A., Garvin, H. M., Sholts, S. B., Schlager, S., & Wärmländer, S. K. T. S. (2017). Sexual dimorphism and regional variation in human frontal bone inclination measured via digital 3D models. *Legal Medicine (Tokyo, Japan)*, *29*, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2017.10.001>
- Pietrusewsky, M. (2000). Metric analysis of skeletal remains: Methods and applications. In M. A. Katzenberg & A. L. Grauer (Eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton* (First Edition, p. 504). Wiley-Liss, Inc.
- Polly, P. D. (2018). Geometric Morphometrics. In S. L. López Varela (Ed.), *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* (pp. 1–5). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0258>
- Pomeroy, E., & Zakrzewski, S. R. (2009). Sexual dimorphism in diaphyseal cross-sectional shape in the Medieval Muslim population of Écija, Spain and Anglo-Saxon Great Chesterford, UK. *International Journal of Osteoarchaeology*, *19*(1), 50–65. <https://doi.org/10.1002/oa.981>
- Pretorius, E., Steyn, M., & Scholtz, Y. (2006). Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *American Journal of Physical Anthropology*, *129*(1), 64–70. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20251>
- Psonak, D., & Kwiatkowska, B. (2012). Selection of skull morphological traits for sexual dimorphism analysis. *HOMO*, *63*(4), 258–274. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2012.05.007>
- Rocha, M. A. (1995). Les collections ostéologiques humaines identifiées du Musée Anthropologique de l'Université de Coimbra. *Antropologia Portuguesa*, *13*, 7–38.
- Roche, A. F. (1979). Secular trends in human growth, maturation, and development. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *44*(3–4), 1–120.

- Rochira, V., Kara, E., & Carani, C. (2015). The endocrine role of estrogens on human male skeleton. *International Journal of Endocrinology*, 2015, 165215. <https://doi.org/10.1155/2015/165215>
- Rohlf, F. J. (1990). Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), 299–316. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.001503>
- Rohlf, F. J. (2015). The tps series of software. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 26(1), 9–12. <https://doi.org/10.4404/hystrix-26.1-11264>
- Rohlf, F. J., & Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Systematic Biology*, 39(1), 40–59. <https://doi.org/10.2307/2992207>
- Rösing, F. W., Graw, M., Marré, B., Ritz-Timme, S., Rothschild, M. A., Rötzscher, K., Schmeling, A., Schröder, I., & Geserick, G. (2007). Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. *Homo: Internationale Zeitschrift Fur Die Vergleichende Forschung Am Menschen*, 58(1), 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2005.07.002>
- Rowbotham, S. K. (2016). Anthropological Estimation of Sex. In S. Blau & D. K. Ubelaker (Eds.), *Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology* (Second Edition, p. 738). Routledge.
- Savriama, Y. (2018). A Step-by-Step Guide for Geometric Morphometrics of Floral Symmetry. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1433. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01433>
- Scholtz, Y., Steyn, M., & Pretorius, E. (2010). A geometric morphometric study into the sexual dimorphism of the human scapula. *Homo: Internationale Zeitschrift Fur Die Vergleichende Forschung Am Menschen*, 61(4), 253–270. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2010.01.048>
- Scott, J. H. (1957). Muscle growth and function in relation to skeletal morphology. *American Journal of Physical Anthropology*, 15(2), 197–234. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330150210>
- Shaper, A. G., Wright, D. H., & Kyobe, J. (1969). Blood pressure and body build in three nomadic tribes of northern Kenya. *East African Medical Journal*, 46(5), 273–281.
- Sierp, I., & Henneberg, M. (2015). The Difficulty of Sexing Skeletons from Unknown Populations. *Journal of Anthropology*, 2015, 908535. <https://doi.org/10.1155/2015/908535>
- Sorrentino, R., Belcastro, M. G., Figus, C., Stephens, N. B., Turley, K., Harcourt-Smith, W., Ryan, T. M., & Benazzi, S. (2020). Exploring sexual dimorphism of the modern human talus through

geometric morphometric methods. *PLOS ONE*, 15(2), e0229255.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229255>

Spradley, M. K., & Jantz, R. L. (2011). Sex Estimation in Forensic Anthropology: Skull Versus Postcranial Elements. *Journal of Forensic Sciences*, 56(2), 289–296.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01635.x>

Steyn, M., & İşcan, M. Y. (1998). Sexual dimorphism in the crania and mandibles of South African whites. *Forensic Science International*, 98(1–2), 9–16. [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(98\)00120-0](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(98)00120-0)

Stock, M. K. (2020). Analyses of the postcranial skeleton for sex estimation. In A. R. Kales (Ed.), *Sex Estimation of the Human Skeleton* (1st Edition, pp. 113–130). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815767-1.00008-0>

Tatsuta, H., Takahashi, K. H., & Sakamaki, Y. (2018). Geometric morphometrics in entomology: Basics and applications. *Entomological Science*, 21(2), 164–184.
<https://doi.org/10.1111/ens.12293>

Taylor, A. B., & Slice, D. E. (2005). A Geometric Morphometric assessment of the relationship between scapular variation and locomotion in African apes. In D. E. Slice (Ed.), *Modern morphometrics in physical anthropology* (1st Edition, pp. 299–318). Springer.

Tobias, P. V. (1985). The negative secular trend. *Journal of Human Evolution*, 14(4), 347–356.
[https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(85\)80041-5](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(85)80041-5)

Ubelaker, D. H., & DeGaglia, C. M. (2017). Population variation in skeletal sexual dimorphism. *Forensic Science International*, 278, 407.e1-407.e7.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.06.012>

Vassallo, S., Davies, C., & Biehler-Gomez, L. (2021). Sex estimation using scapular measurements: Discriminant function analysis in a modern Italian population. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1868575>

Viscosi, V., & Cardini, A. (2011). Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: A simplified protocol for beginners. *PloS One*, 6(10), e25630.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025630>

von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B. C., & Lahr, M. M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology*, 134(1), 24–35. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20616>

Wärmländer, S. K. T. S., Garvin, H., Guyomarc'h, P., Petaros, A., & Sholts, S. B. (2019). Landmark Typology in Applied Morphometrics Studies: What's the Point? *Anatomical Record (Hoboken, N.J.: 2007)*, 302(7), 1144–1153. <https://doi.org/10.1002/ar.24005>

Wasterlain, R. S. N. (2000). *Morphé: Análise das proporções entre os membros, dimorfismo sexual e estatura de uma amostra da colecção de esqueletos identificados do Museu Antropológico da Universidade de Coimbra*. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/9870>

Weber, G. W., & Bookstein, F. L. (2011). *Virtual anthropology: A guide to a new interdisciplinary field* (Second Edition). Springer.

White, T. D., Black, M. T., & Folkens, P. A. (2011). *Human Osteology* (Third Edition). Academic Press.

White, T. D., & Folkens, P. A. (2005). *The Human Bone Manual* (1st Edition). Academic Press.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., & Sheets, H. D. (2012). *Geometric Morphometrics for biologists: A primer* (Second Edition). Academic Press.