



FMUC FACULDADE DE MEDICINA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# Influências tafonómicas na degradação óssea: análise experimental em modelos animais

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina da  
Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Mestre  
em Medicina Legal e Ciências Forenses.

**Orientação:** Professor Doutor Francisco Corte-Real

**Coorientação:** Professora Doutora Maria Teresa dos Santos Ferreira

Ana Marta Neves de Matos

Coimbra, 2017







# Agradecimentos

A realização desta dissertação de tese representou para mim um dos trabalhos mais difíceis que tive de realizar durante todo o meu percurso académico. Exigiu de mim todo o empenho e dedicação necessária, força de vontade e energia, mas que não teria sido suficiente sem a ajuda e encorajamento crucial de muitas pessoas que contribuíram para o seu sucesso.

Começo por agradecer ao Prof. Dr. Francisco Corte-Real, como orientador desta tese, por sugerir este projecto, algo diferente e fora dos padrões tradicionais e por acreditar que era possível concretizá-lo.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Teresa Ferreira, pela sua co-orientação, disponibilidade, apoio, críticas construtivas e trabalho duro que nos permitiram alcançar os objectivos propostos.

Ao Laboratório de Antropologia Forense, ao Departamento de Engenharia Mecânica e à Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial, tal como o meu muito obrigada ao Calil Makhoul, ao João Coelho, ao Dr. Ricardo Oliveira, ao Dr. José Raposo, à Cláudia e à Daniela, pela sua disponibilidade e dedicação.

Aos meus pais, pelo apoio e encorajamento infinito que sempre demonstraram e que me ajudaram a alcançar os meus sonhos, porque sem eles não teria sido possível embarcar nesta área de estudos. Agradecer ainda aos meus tios, principalmente à minha tia Ana Maria, pelo apoio incondicional e iniciativa para que nunca desistisse, à Cristina, ao meu avô Vasco, avó Helena e Belinha.

À Teresa, que se mostrou sempre disponível para me ajudar na discussão de ideias nas horas infinitas de acompanhamento de estudo e também um agradecimento à Guida e à querida Lalita.

Ao Filipe pelo apoio, confiança, paciência e ajuda ao longo deste ano.

A todos deixo aqui a minha sincera gratidão.

Esta dissertação de tese é dedicada à minha avó Alice.

## Resumo

O objectivo deste estudo é observar o comportamento de alguns factores a que um cadáver pode ser exposto, envolvendo traumatismos e alterações térmico-induzidas. Trata-se de um estudo experimental onde, recorrendo a modelos animais, se pretende simular o desenrolar de traumatismos em peças anatómicas previamente sujeitas à acção de diferentes temperaturas, bem como avaliar o seu comportamento pós-trauma a outras alterações térmico-induzidas.

Os modelos animais foram fémures de porco (de animais abatidos para consumo humano e adquiridos num talho). Algumas destas peças anatómicas foram previamente congeladas, ou sujeitas a diferentes condições e temperaturas. A estas e a outras em estado fresco foram infligidos traumatismos contundentes utilizando-se um dispositivo mecânico com pêndulo, especialmente desenvolvido para o efeito, sendo a carga exercida avaliada através de sensores colocados nos ossos.

Nem todos os resultados foram os esperados: um osso fresco (portanto preservando as suas propriedades elásticas e plásticas) fracturou com uma força de 60N, enquanto outro cozido não fracturou a 130N.

Após a indução dos traumatismos, os ossos frescos e congelados foram sujeitos a temperaturas de 900°C, numa mufla, com o objectivo de observar as modificações e alterações nas características do osso. Nos ossos previamente fracturados, observámos fragmentação e alargamento/aumento das fissuras na zona traumatizada. Havendo mesmo dificuldade em distinguir as fracturas provocadas pelo mecanismo pendular e as provocadas pela acção do calor. Observámos também uma elevada perda da massa das peças ósseas, na ordem dos 70%, indício claro da desidratação provocada pelas altas temperaturas.

Palavras-chave: Antropologia Forense, Tafonomia, Traumatismos, Indução de Calor, Mecanismo Pendular

# Abstract

The purpose of this study is to observe the behavior of some factors to which a cadaver can be exposed, involving traumas and thermal-induced changes. It is an experimental study where, using animal models, it is intended to simulate the evolution of trauma in anatomical parts previously subjected to the action of different temperatures, as well as to evaluate its post-trauma behavior to other thermal-induced changes.

The animal models were pig femurs (from animals slaughtered for human consumption and purchased in a butcher's shop). Some of these anatomical parts were previously frozen, or subjected to different conditions and temperatures. To these parts and others in fresh condition blunt injuries were inflicted using a specially designed mechanical device with a pendulum, where the load exerted was evaluated by sensors placed in the bones.

Not all results were as expected: a fresh bone (thus preserving its elastic and plastic properties) fractured with a force of 60N, while another baked bone did not fracture at 130N.

After trauma induction, fresh and frozen bones were subjected to temperatures of 900°C in a muffle, in order to observe changes in bone characteristics. In previously fractured bones, we observed fragmentation and enlargement / increase of fissures in the traumatized zone. It was difficult to distinguish fractures caused by the pendulum mechanism and those caused by the action of heat. We also observed a high loss of the mass of the bone pieces, about 70%, a clear indication of the dehydration caused by the high temperatures.

Keywords: Forensic Anthropology, Taphonomy, Trauma, Heat Induction, Pendular Mechanism

# Índice

Agradecimentos .....	iv
Resumo.....	v
Abstract .....	vi
Índice.....	vii
1. Introdução .....	1
2. Contextualização Teórica .....	3
2.1. Tafonomia .....	3
2.1.1. Processos tafonómicos.....	5
2.1.2. Temperatura.....	7
2.2. Traumatismos.....	8
2.2.1. Constituição do tecido ósseo .....	9
2.2.2. Lesões <i>ante-mortem</i> .....	10
2.2.3. Lesões <i>peri-mortem</i> .....	11
2.2.4. Lesões <i>post-mortem</i> .....	13
2.2.5. Biomecânica das lesões.....	14
2.2.6. Lesões contundentes.....	14
2.2.7. Lesões incisivas/cortantes .....	16
2.3. Padrões de fractura em ossos queimados .....	17
3. Material e Métodos.....	22
4. Resultados .....	23
4.1. Experiência nº1 .....	23
4.2. Experiência nº2 .....	23
4.3. Experiência nº3 .....	25
4.4. Experiência nº4 .....	26
4.5. Experiência nº5 .....	28
5. Discussão .....	31
6. Conclusão .....	35
Bibliografia .....	37
Apêndices.....	51

# 1. Introdução

A tafonomia é o estudo dos processos pós-morte, que englobam todo o período de tempo decorrido desde do momento da morte até à análise dos restos cadavéricos (Efremov, 1940). Os seus princípios são aplicados na Antropologia Forense de várias formas e estão direccionados para a determinação do contexto e local em que um indivíduo morreu, para a estimativa do tempo decorrido desde a morte, bem como na identificação de pistas sobre a causa, a circunstância e o momento da morte. Citando Dirkmaat e colegas (2008:46), representa “a análise da distribuição espacial de restos na sua localização de descoberta, uma consideração cuidadosa do ambiente depois da morte, análise do que resta do tecido mole, interações de insectos e animais com o corpo e uma análise meticulosa das alterações no osso desde a mancha até ao traumatismo”.

Felizmente, nos últimos anos, estamos a assistir a um desenvolvimento positivo no que toca a abordagens metodológicas nesta área de investigação (Tibbett e Carter, 2008). No entanto, autores como Bristow e colegas (2011) referem que é necessário continuar a desenvolver, a investigar, pois sem o progresso científico, uma área que contém grande potencial, pode acabar por se cingir ao que apenas é considerado credível e deixa de explorar e procurar novos caminhos.

O estudo tafonómico é bastante complexo, pois existem diversas variáveis que afectam a decomposição de um corpo, como o ambiente onde fica deposto o cadáver (sendo a temperatura um dos factores mais influentes), ou as variações intrínsecas ao próprio indivíduo. A título de exemplo desta variabilidade mencionamos os casos do meio aquático e do solo. É necessário compreender, no caso do meio aquático, que além de diferentes características, existem diferentes tipos – rio, lago, oceano – que contribuem para que exista uma grande variação no que toca aos factores tafonómicos mais importantes, como temperatura ou movimento e dispersão de corpos (Sorg et al., 2012). As características do solo têm também um efeito significativo na decomposição de um cadáver. Enterrado, este decompõe-se mais lentamente do que à superfície. Outras características, como a granulidade e o pH, também influenciam o desenrolar

do processo de decomposição cadavérica, sendo mesmo preponderantes na degradação óssea (Mant, 1950, 1987).

Quando um cadáver e/ou os seus restos humanos já não são possíveis de identificar através dos traços fisionómicos ou já são restos esqueletizados, corpos mumificados, saponificados ou cremados, podem ser objecto de análise por parte do antropólogo forense (Pinheiro e Cunha, 2006). Determinar a causa e a circunstância da morte é uma das mais importantes considerações na avaliação forense, sendo as lesões traumáticas particularmente relevantes para este diagnóstico. No que concerne as lesões *ante-mortem*, tem de existir uma resposta osteogénica, de forma a comprovar que essa lesão aconteceu em vida. O osso pode reagir a uma agressão, por reabsorção óssea ou formação de osso novo (Cunha e Pinheiro, 2007), sendo o calo ósseo um óptimo exemplo de uma lesão *ante-mortem*. Se não existe qualquer tipo de resposta óssea estamos perante uma lesão *peri* ou *post-mortem*. Vários factores contribuem para a identificação de fracturas pós-morte (acção tafonómica), como animais, plantas ou o próprio solo. As lesões *peri-mortem*, uma vez que estão directamente relacionadas com a morte, são potencialmente as mais violentas. Estas fracturas ocorrem quando o osso está ainda elástico, fresco, designado por “green bone” em inglês (Maples, 1986).

Os três tipos de lesões *peri-mortem* mais frequentes são do tipo perfurantes ou perfuro-contundentes (por exemplo, os provocados por armas de fogo), contundentes e cortantes ou incisivas, formando padrões diferentes e compatíveis com os instrumentos que as provocaram. A aparência e forma das lesões ósseas traumáticas reflectem não só a forma, a área, a massa, a velocidade e a direcção do instrumento que provocou a lesão, bem como também a força intrínseca, a anatomia, a espessura, o conteúdo mineral e o estado geral de saúde do osso afectado, como afirmam Ubelaker (1991) e Smith e colaboradores (2003).

Especificamente, no caso deste presente trabalho, importa salientar com mais pormenor as lesões contundentes, uma vez que irão contribuir para um dos objectivos da investigação. A resposta do osso a lesões de natureza contudente depende de factores intrínsecos como a densidade óssea ou extrínsecos como a forma, peso e material do instrumento e a velocidade ou força com que foi aplicado.

## 2. Contextualização Teórica

### 2.1. Tafonomia

O termo *tafonomia* deriva da junção das palavras gregas *taphos* – “enterramento” e *nomos* – “lei”. Foi referenciado pela primeira vez, em 1940, pelo geólogo russo Efremov como a “transição dos restos animais da biosfera para a litosfera” (Efremov, 1940), embora antes, Weigelt, em 1927, e Richter, em 1928, produziram trabalhos relevantes no sentido de estudar esta transição dos cadáveres (Beary e Lyman, 2012). Limitou-se ao estudo de restos fossilizados de animais, nunca indicando que seria possível aplicar a Tafonomia na análise de restos humanos (Sorg et al., 2012), embora Efremov tenha incluído nos seus trabalhos restos de animais tanto contemporâneos como antigos (Efremov, 1940).

Apenas em 1961 é que a Tafonomia adquiriu um papel importante, com George Gaylord Simpson, que considerou que seria necessário estudar de forma mais exaustiva os factores que influenciam a fauna viva e a forma como preservam parte dela enquanto fósseis (Simpson, 1961). A partir de 1970, também se expandiu para a área da Arqueologia, por exemplo no estudo dos ambientes de deposição, nos processos culturais (Bristow et al., 2011), transporte e degradação óssea (Dirkmaat et al., 2008). Sendo que a atenção dos arqueólogos é mais focada na relação entre os homínidos e os seus ambientes, focando-se nos vestígios culturais (Pope, 2010). Estes conceitos foram também aplicados no estudo de restos humanos pré-históricos (Dirkmaat et al., 2008).

Nas ciências forenses, as aplicações da Tafonomia iniciaram-se em 1980 com Sorg (1986) e Haglund (Haglund 1991; Haglund et al. 1988, 1989) no estudo de modificações de restos ósseos com importância forense por predadores (Sorg et al., 2012). A Tafonomia forense, como é designada, pode providenciar pesquisa realista de enorme importância para arqueólogos forenses e antropólogos, principalmente no que toca a compreender o papel que a decomposição e presença de predadores podem ter na deposição e na distribuição dos elementos esqueléticos e na identificação dos efeitos dos traumatismos (Haglund e Sorg, 2002a). A análise forense do esqueleto humano começa, muitas vezes, no terreno e, por isso, o treino de qualquer arqueólogo forense ou

antropólogo forense deve começar por uma compreensão meticulosa dos métodos de localização de restos humanos enterrados (Holland e Connell, 2009). Como afirma Kroeber (1916: 20), de forma a ser possível estabelecer um nexos correcto entre o passado e o presente, é necessário realizar escavações cuidadas e sistemáticas. Wheeler (1956: 152) refere que “o escavador sem uma política inteligente, pode ser descrito como um arqueólogo trabalhador, um mestre, mas não criativo nos termos da ciência construtiva”. A presença e o valor de arqueólogos no âmbito das ciências forenses podem ser categorizados em duas amplas contribuições: são bons a encontrar coisas que estão enterradas; e são bons a recuperar o que encontram (Cheetham e Hanson, 2008). Tradicionalmente, restos humanos enterrados são muitas vezes encontrados ou por acidente (durante uma obra de construção), ou através do reconhecimento de indicadores à superfície (Holland e Connell, 2009). A procura de restos humanos enterrados é realizada normalmente a caminhar, embora possam ser utilizados veículos motorizados ou aéreos, tal como é possível utilizar fotografia aérea, especialmente em situações que envolvam zonas vastas ou de difícil acesso (Holland e Connell, 2009).

Os objectivos de investigação e os benefícios da participação de arqueólogos em investigações forenses têm sido discutidas e incluem a recuperação e a avaliação das provas para identificação do indivíduo, etnia, religião e grupos culturais; assistência na determinação da causa e circunstância da morte; determinar se o indivíduo foi movido *post-mortem*; reconstrução da cena de crime; interligação de cenas de crime; avaliação das acções dos perpetradores e a sua identificação; e estabelecimento da sequência e datação dos eventos relevantes (Hunter et al., 1994; Hanglund, 2001; Connor e Scott, 2001; Juhl, 2004 e Hanson, 2007). Atingir estes objectivos beneficia de um curto período de tempo entre a deposição e a escavação, o que significa que existem evidências arqueológicas que sobrevivem e é possível realizar uma reconstrução dos eventos com bastante precisão (Cheetham e Hanson, 2008). Um bom exemplo é o envolvimento de arqueólogos e outros peritos forenses nas investigações do massacre de Srebrenica na Bósnia em 1998, onde foi possível informar as autoridades do que poderia ser recuperado de cenas de crime envolvendo corpos enterrados, como por exemplo a identificação de marcas de veículos, a detecção e análise de diferentes solos em enterramentos secundários ou o reconhecimento de várias deposições estratigráficas, o que significa reutilização de campas (Hanson, 2004; Brown, 2006 e Cox et al., 2008). Estas capacidades permitem aos investigadores a localização e a análise de campas, o

reconhecimento de alteração nos solos e o acompanhamento da localização de objectos em 2D e 3D e a sua representação em imagens computadorizadas (Cheetham e Hanson, 2008). O uso da Arqueologia e de arqueólogos em escavações criminais, humanitárias e de desastres em massa e a sua recuperação, tem vindo a ser incorporada nos procedimentos padrão, nas estratégias e táticas nas cenas de investigação. Os arqueólogos oferecem um vasto leque de abordagens processuais e analíticas, que providenciam ferramentas muito úteis para que os investigadores maximizem o reconhecimento das evidências, da cena de crime e da reconstrução dos eventos anteriores à morte. Porém, é necessário padronizar as metodologias e abordagens que aplicam em contexto forense de forma a assegurar o seu trabalho, partindo do princípio que todos os casos de escavações e recuperação na área forense podem chegar a tribunal (Cheetham e Hanson, 2008).

A Tafonomia forense abrange a reconstrução dos eventos que rodeiam a morte de um indivíduo, tendo como objectivo distinguir as lesões *peri-mortem* e alterações *post-mortem* (Haglund e Sorg, 1997). A aplicação das técnicas tafonómicas implica a recolha de informação relevante para a reconstrução de eventos que envolveram a morte, disposição do corpo e no local (Dirkmaat et al, 2008). Actualmente, as competências de um antropólogo forense não se cingem apenas à construção de um perfil biológico e características individualizantes, mas também passam pela reconstrução das circunstâncias que envolveram a morte e alterações pós-morte, salientando a importância da estimativa do IPM – Intervalo Pós-Morte (Buekenhout, 2014). A Tafonomia transformou a Antropologia forense tradicional, que se baseava sobretudo na pesquisa e estudo laboratorial, numa disciplina de forte importância e de relevância no terreno (Dirkmaat et al., 2008; Ferreira, 2012).

### 2.1.1. Processos tafonómicos

A história tafonómica inicia-se com a morte de um organismo (Lyman, 1994), tornando o cadáver a peça central de um novo microambiente que se forma, enquanto o corpo desencadeia um processo de mudança na química e na temperatura do meio ambiente envolvente (Sorg e Haglund, 2002). O contexto pós-morte inclui variáveis independentes, introduzidas pelo clima em geral, ecologia e geologia da área onde os restos foram encontrados, podendo incluir uma área vasta ou pequena (Sorg et al.,

2012). Os processos que actuam sobre o cadáver são conhecidos como processos *post-mortem*. A decomposição implica factores químicos, físicos e biológicos, sendo que todos estão submetidos a estes processos e influenciados pela temperatura, água, pH, entre outros, denominados factores tafonómicos (Buekenhout, 2014).

Segundo Nawrocki (1996), os factores tafonómicos podem ser definidos em três categorias:

- Factores ambientais, que constituem os factores externos ao cadáver como o clima (abiótico) e a fauna e flora (bióticos), ou factores extrínsecos (Beary e Lyman, 2012);
- Factores individuais, ou seja as características inerentes ao indivíduo, como a idade à morte e sexo, também designados por factores intrínsecos (Beary e Lyman, 2012);
- Factores comportamentais ou antrópicos, aqueles que compreendem a participação humana no tratamento pós-morte do corpo, como, por exemplo, o enterramento.

Como refere Ferreira (2012), o estudo dos padrões de comportamento dos vestígios através das modificações por processos tafonómicos físicos, químicos e biológicos, pode levar à maximização da informação obtida a partir dos restos encontrados.

Vários autores têm ainda referido que a temperatura é o factor extrínseco ao cadáver com maior influência na sua decomposição, seguido pela presença de água ou humidade (Mann et al., 1990; Rhine e Dawson, 1998; Perper, 2006; Gleason, 2008; Shirley et al., 2011; Vass, 2011; Sorg et al., 2012).

Noutros estudos têm sido referenciados outros factores, como o contexto da deposição – corpos inumados ou em ambiente aquático, presença de insectos e outros microorganismos, vegetação, níveis de pH do solo, efeitos da luz, quantidade de oxigénio presente, profundidade do enterramento, trauma do corpo, factores antrópicos, características individuais do corpo ou idade à morte (Mann et al., 1990; Rhine e Dawson, 1998; Sorg e Haglund, 2002; Fiedler e Graw, 2003; Perper, 2006; Dautartas, 2009; Moyce e Hanna, 2009; Ayers, 2010; Rogers, 2010; Ross e Cunningham, 2011; Sauerwein, 2011; Shirley et al., 2011; Beary e Lyman, 2012; Sorg et al., 2012; Ferreira e Cunha, 2013; SWGANTH, 2013; Tumer et al., 2013; Wilson-Taylor, 2013). Um

estudo realizado por Lyman (1989) relativamente aos animais que foram mortos na erupção do vulcão do Monte de Santa Helena, Washington (EUA), ajuda a compreender como processos naturais afectam o osso, o que se torna uma preciosa ajuda na interpretação de restos esqueléticos em contextos forenses (Sorg et al., 2012).

### 2.1.2. Temperatura

A temperatura é uma das mais importantes variáveis na decomposição de um cadáver, uma vez que altas temperaturas aceleram as reacções químicas associadas à autólise, e também o desenvolvimento das bactérias causadoras da putrefacção. A temperatura é influenciada pelas estações do ano, altitude, latitude, enterramento, presença de roupa ou movimento do ar (Vass, 2011).

No entanto, existem factores que podem “esconder” o cadáver das temperaturas elevadas causadas pela exposição directa à luz solar num contexto ao ar livre como, por exemplo, árvores, presença de colinas ou vales. Ou num contexto fechado, presença de barreiras e janelas por onde possa passar a luz solar, o que pode alterar as condições térmicas do ambiente (Sorg et al., 2012).

A temperatura influencia também outros factores como a actividade dos insectos (Rhine e Dawson, 1998; Pope, 2010; Shirley et al., 2011). Mann e colaboradores (1990) descrevem que os insectos atacam o corpo de uma forma exponencial durante os meses quentes da Primavera e do Verão, uma vez que as altas temperaturas aceleram a formação de insectos e diminui durante os meses do Outono e do Inverno, uma vez que os ovos não eclodem com temperaturas abaixo de 10°C (Gleason, 2008).

Vassalo e colaboradores (2017) referem também que os distúrbios induzidos causados pelo calor ocorrem maioritariamente em osso seco, embora não se revele um indicador confiável no que toca à condição de restos humanos antes de queimar. Referem também que se o corpo já estiver parcialmente ou até completamente esqueletizado a quando do contacto com uma fonte de calor, então pode-se excluir este último como causa de morte.

Eckert (1981) explica que mesmo num crematório moderno são necessárias temperaturas à volta de 871°C, durante 90 minutos, para reduzir um corpo em fragmentos e cinzas e mesmo nesta fase, alguns fragmentos podem ser identificados.

Foisey (1986) dá o exemplo de um acidente que ocorreu nos arredores de Hinton, Alberta, entre um camião que transportava tubos de enxofre, grão e tubulação de ponta e um comboio de passageiros, onde tal colisão resultou num incêndio alimentado pelo grão, gasóleo e enxofre. O fogo durou cerca de 48 horas. O calor intenso provocou nas vítimas uma mistura de cremação com carbonização e incineração incompleta (Foisey, 1986). As vítimas foram identificadas através de determinação da idade à morte utilizando a sínfise púbica, erupção dentária, fusão das epífises, entre outras técnicas.

Correia (1990) explica que uma das possibilidades relacionadas com a incineração incompleta possa ter ocorrido com o impacto directo da colisão.

No que toca à coloração resultante da indução de calor, as cores variam entre um cinzento-azulado, um branco-acinzentado ou apenas branco. Estas variações representam a temperatura alcançada pelo osso e o tempo que esteve exposto a altas temperaturas (Bonucci e Graziani, 1969; Heglar, 1984 e Shipman et al., 1984). São um reflexo do material orgânico e inorgânico associado à resposta do corpo perante altas temperaturas. A cor do osso cremado, segundo Correia (1990), parece demonstrar o estado de decomposição do osso, opondo-se à temperatura atingida.

O estudo cuidadoso de características visuais como cor, deformação ou padrões de fractura, levou a uma maior compreensão do tecido do osso e de como o calor o afecta.

Apesar de ser do senso comum, salienta-se também que as temperaturas baixas tendem a preservar os tecidos moles, retardando os processos de autólices e putrefacção, podendo mesmo preservar o cadáver (Sorg et al., 2012).

## 2.2. Traumatismos

As lesões traumáticas são das marcas mais informativas deixadas nos ossos, o que faz delas uma fonte única de registos sobre violência, sendo que a sua leitura é muito importante para a identificação e estabelecimento da causa de morte (Cunha e Pinheiro, 2006). O antropólogo forense assiste o patologista na avaliação da causa e circunstância da morte e é precisamente aqui que a avaliação das lesões traumáticas desempenha um papel muito importante, uma vez que o antropólogo proporciona um

*knowhow* único no estabelecimento da causa e circunstância da morte de um indivíduo (Cunha e Pinheiro, 2006).

Associar uma lesão óssea ao momento da morte é um dos passos mais importantes na avaliação forense de um traumatismo (Sauer, 1998), portanto é necessário conseguir excluir se uma lesão ocorreu após a morte – *post-mortem* – ou ainda em vida – *ante-mortem*; sendo possível associar o traumatismo à circunstância da morte, por exemplo, um homicídio (Sauer, 1998). Tal como a correcta interpretação do padrão das fracturas ajude a determinar o tipo de traumatismo – contundente, cortante ou perfurante (Kroman e Symes, 2013).

Nos últimos anos temos assistido a um aumento experimental e prospectivo da pesquisa no que toca a traumatismos nos ossos, utilizando tanto modelos animais como cadáveres humanos (Kroman e Symes, 2013).

### 2.2.1. Constituição do tecido ósseo

O osso é descrito como heterogéneo, anisotrópico, visco-elástico, frágil e fraco sob pressão (Gozna, 1982; Reilly e Burstein, 1974). É formado por matérias orgânica (principalmente colagénio) e inorgânica (cristais de hidroxiapatite, que representam, juntamente com os sais de cálcio, o material duro e inflexível) e água (White e Folkens, 2000). Esta composição confere-lhe propriedades únicas, não só no que toca a uma grande versatilidade como uma morfologia única das fracturas e dos defeitos causados pelo traumatismo (Smith et al., 2003).

Segundo Berryman e Symes (1998), quando um trauma atravessa os cristais de hidroxiapatite e entra numa interface, forma-se uma racha tipo T e a energia dissipa-se. O osso fractura quando o peso é demasiadamente grande para a racha se propagar de um cristal para outro na interface do colagénio. Uma vez que o osso é frágil, pode fracturar de forma diferente de outros tecidos que o rodeiam. Como dobra antes de partir e é visco-elástico, o osso é muito importante na avaliação de cargas de choque. Vai partir antes de outros tecidos devido à sua pouca absorção de ondas de choque e cargas rápidas (Symes et al., 2012).

Depois da morte, a constituição do osso altera-se. Perde-se a água e a elasticidade e a matéria orgânica deixa de ser flexível, tornando o osso mais quebradiço.

A alteração da constituição do osso também é importante para determinar como o osso seco responde à exposição a grandes temperaturas (Cunha e Pinheiro, 2006). Na ausência de humidade no osso, a fractura vai provocar essencialmente um padrão de estrias longitudinal (Sauer, 1998).

### 2.2.2. Lesões *ante-mortem*

Uma lesão aconteceu em vida, quando existem sinais de resposta osteogénica, pois o osso quando vivo, reage a uma agressão por reabsorção óssea ou deposição óssea. O calo ósseo representa um dos exemplos de uma lesão *ante-mortem* (Cunha e Pinheiro, 2006). A análise antropológica de traumatismo no esqueleto humano apresenta um enorme benefício para o antropólogo forense, uma vez que os ossos preservam uma série de eventos traumáticos (Passalacqua e Rainwater, 2015) que permitem realizar, não só, uma identificação positiva, mas também podem contribuir para a determinação da causa da morte (Cunha e Pinheiro, 2016).

No que toca à patogénese das fracturas, estas podem resultar da aplicação de várias forças repetidas de baixa magnitude durante um período de tempo ou podem resultar de apenas um impacto de uma força capaz de quebrar a elasticidade do osso (Cunha e Pinheiro, 2016). A vulnerabilidade do osso ao trauma está também relacionada com a sua capacidade para absorver energia ( $E=1/2mv^2$ , sendo que o  $m$  representa a massa e o  $v$  a velocidade) (Loe, 2009).

Numa tentativa de classificar os traumatismos *ante-mortem*, Pinheiro (2006) e Wedel e Galloway (2014), referem que pode ser feita de acordo com o mecanismo ou instrumento aplicado, ou se foi intencional – traumatismo accidental (fracturas, deslocamentos), traumatismo intencional (disparo de arma de fogo, esfaqueamento), traumatismo cultural (deformação dos pés das chinesas) e traumatismo terapêutico (intervenções cirúrgicas), embora a maioria dos casos esteja relacionado com acontecimentos *peri-mortem*, o que torna esta classificação um pouco difícil de conseguir (Cunha e Pinheiro, 2016).

Embora a causa da morte possa não estar directamente relacionada com uma lesão *ante-mortem*, uma vez que a existência de sinais de reparação óssea significa para a lesão não foi fatal, Cunha e colaboradores (2016), salientam que alguns traumas

ocorridos em vida, podem ser interpretados como uma causa de morte indirecta, embora apresente outras implicações medico-legais. A fractura do colo do fémur nos idosos é um exemplo para este tipo de fractura *ante-mortem* que, embora não seja fatal, pode causar complicações como broncopneumonia ou tromboembolia pulmonar, que levam à morte, como explica Pinheiro (2006).

Nos casos em que a lesão tenha sido infligida muito pouco tempo antes da morte pode mesmo ser quase impossível diferenciar entre essa e uma ocorrida na altura do falecimento. Será ao nível microscópico que se detectarão as eventuais provas de que a lesão ocorreu em vida (Cunha e Pinheiro, 2006).

Há ainda a destacar os traumatismos ditos culturais e terapêuticos para os quais o conhecimento da ancestralidade do indivíduo afectado é muito importante. A deformação dos pés das chinesas, ou a deformação craniana praticada nalgumas culturas, como é o caso de alguns grupos chilenos, são um bom exemplo (Aufderheide e Rodríguez-Martín, 1998).

As marcas de intervenções cirúrgicas e de tratamento de fracturas são, por outro lado, uma enorme mais-valia para a identificação forense (Cunha e Pinheiro, 2016). Ou seja, a análise dos traumatismos *ante-mortem* pode ser bastante informativa para a reconstrução dos vários episódios experienciados em vida e identificar factores de individualização (Maples, 1984; Komar, 2003; Steyn e Íscan, 2000; Cattaneo et al., 2006; Cunha, 2006; Cunha e Cattaneo, 2006; Cunha e Pinheiro, 2007; Scott et al., 2010).

Quanto mais lesões produzidas em vida um indivíduo apresentar, melhor poderá ser distinguido de outros, tornando-se único e, assim, aumentar as possibilidades de se chegar a uma identificação positiva (Cunha e Pinheiro, 2016).

### 2.2.3. Lesões *peri-mortem*

As lesões *peri-mortem* são as lesões que aconteceram perto da morte, que podem afectar o osso e/ou os tecidos moles (Roberts, 1991: 226), estando muitas vezes directamente relacionadas com a morte, tornando-as das mais violentas. A identificação destas lesões pode indicar a causa da morte e como ocorreu, sugerindo como o corpo foi tratado durante o intervalo *peri-mortem* (Wedel e Galloway, 2014).

Os traumatismos *peri-mortem* podem ser identificados como fracturas ou quebras que podem dividir, quebrar ou penetrar o osso (Loe, 2009).

O osso é anisotrópico, portanto tem a habilidade de responder de diversas formas, dependendo da direcção da força aplicada. Uma fractura vai ocorrer no osso, apenas se existir força suficiente que permita que esta passe para as fibras de colagénio, de cristal a cristal (Berryman e Haun, 1996).

Quando sofre uma carga forte, o osso responde primeiro com as suas características elásticas e depois plásticas, antes de partir (Mascie-Taylor e Bogin 1995), o que significa que o osso pode recuperar a sua forma e dimensão depois da carga aplicada. Uma vez que o osso ainda mantém as suas características elásticas, as características do traumatismo vão ser compatíveis com o chamado *green bone* – as superfícies de corte tendem a tornar-se cortantes, com um aspecto irregular e pode ocorrer dobragem óssea ou fracturas tendencialmente mais oblíquas (Maples, 1986). Outras características que podem indicar traumatismos *peri-mortem* incluem margens de fractura irregulares, fragmentos que tendem a agarrar-se uns aos outros, levantamento das margens de fractura, dobramento, descoloração em algumas margens ou da mesma cor do osso circundante e trabéculas manchadas pelo hematoma (Brothwell, 1981; Berryman e Haun, 1996; Kanz e Grossschmidt, 2005).

No entanto, quando as características elásticas chegam ao seu limite, as outras fibras começam a sarar e quando aplicada outra carga, resulta na deformação do osso, ou seja, chama-se fase plástica (Frankel e Nordin, 1980).

Em osso seco, os fragmentos de fractura são mais pequenos e mais regulares, margens duras e desiguais e muitas vezes apresentam linhas descontínuas de fractura (Sauer, 1998; Kanz e Grossschmidt, 2005). Knusel e colaboradores (2006) referem que as fracturas que ocorrem em osso seco mostram uma resposta mineralizada, ao passo que as ocorridas em osso fresco retêm propriedades orgânicas, não é mineralizado nem *green bone* (Knusel e Outram, 2006).

As fracturas podem ocorrer no ponto de impacto (força directa) ou noutra local do ponto de impacto (força indirecta). Loe (2009) descreve quatro tipos de força – tensão, compressão, dobra e torção e podem resultar em padrões de fractura transversos, oblíquos, borboleta e espiral (Crawford, 1983).

Os sinais de violência dependem ainda do tipo de objecto utilizado para produzir as lesões, o que se traduz por lesões contundentes, incisivas/cortantes, perfurantes e/ou uma combinação de todas (Pinheiro, 2006; Loe, 2009). Tendem a apresentar padrões únicos, em concordância com o objecto que as produziu, mas citando Ubelaker (1991) “diferentes causas podem produzir as mesmas lesões e que diferentes lesões podem ter sido causadas pela mesma arma e/ou mecanismo”.

As lesões peri mortais são mais facilmente encontradas nos ossos do crânio, que pela função que desempenha, apresenta uma letalidade superior, em comparação com uma lesão traumática na pélvis (Cunha e Pinheiro, 2006). As fracturas cranianas habitualmente acompanhadas de danos intracranianos encefálicos relevantes são sempre sinónimo de que a cabeça sofreu um forte impacto (Cunha e Pinheiro, 2006).

A análise de lesões *peri-mortem* está em constante avanço, sendo umas das áreas de grande desafio da antropologia forense. É possível confirmar que uma lesão não é *ante* nem *post-mortem* e conseguir distinguir lesões *peri-mortem* genuínas de variações anatómicas, patologias ou alterações tafonómicas (Loe, 2009).

#### 2.2.4. Lesões *post-mortem*

As lesões *post-mortem* não são consideradas traumatismos, pois acontecem após a morte do indivíduo. São as lesões provocadas pelos agentes tafonómicos. No entanto, a ausência de resposta osteogénica faz que nem sempre a distinção entre fracturas *peri* e *post-mortem* seja simples, fácil e linear. O padrão da fractura pode ajudar nesta distinção. Por exemplo, a fracturas em borboleta “butterfly fractures” (Ubelaker e Adams, 1995), são normalmente peri mortais, mas segundo Ubelaker e Adams (1995), existem relatos de que este padrão já ocorreu após a morte. Certos indicadores tafonómicos, como a variação de cor nas superfícies de fractura ou a forma dos bordos, podem indicar um trauma *post-mortem* relativamente a um acontecido na altura da morte (Ubelaker e Adams, 1995). Por outro lado, lesões tafonómicas que afectam o osso pouco tempo após a morte (em que o osso ainda preserva matéria orgânica e, por conseguinte, ainda mantém algumas propriedades do osso fresco) podem ter características típicas das lesões *peri-mortem*.

Em contextos forenses, as fracturas provocadas após a morte podem ser igualmente valiosas pois elucidam sobre possíveis desmembramentos, mutilações e desarticulações do corpo (Berryman e Symes 1998; Smith et al., 2003). A fauna, flora, o solo e várias acções antropogénicas podem levar a uma fracturação óssea mais ou menos complexa.

### 2.2.5. Biomecânica das lesões

A aparência e forma das lesões ósseas traumáticas reflectem não só a forma, a área, a massa, a velocidade e a direcção do instrumento produtor da lesão, como também a força intrínseca, a anatomia, a espessura, o conteúdo mineral e o estado geral de saúde do osso afectado (Ubelaker, 1991; Smith et al., 2003). A determinante mais importante é a velocidade ( $E=m/2*v^2$ ). O osso resiste mais facilmente a cargas rápidas do que lentas, uma vez que prolongando a força em cargas lentas, a pressão sobre o osso aumenta, sendo objectos de origem contundente um exemplo de cargas lentas. Por outro lado, quando submetido a cargas rápidas, o osso resiste até um ponto e depois estilhaça, com pouca ou nenhuma deformação plástica (Symes et al., 2012). Um exemplo de objectos capazes de produzir impactos de alta velocidade são os projectéis das armas de fogo. As lesões por objectos cortantes que penetram o osso, dependem do instrumento produtor da lesão e podem envolver uma mistura de características (Quatrehomme e Alunni-Perret, 2006).

### 2.2.6. Lesões contundentes

As lesões contundentes são as mais comuns observadas. Resultam em abrasões, contusões, lacerações e/ou fracturas ósseas (Symes et al., 2012).

As lesões cranianas com depressão do osso na zona afectada são um dos casos mais típicos. Resultam, muitas vezes, de agressão interpessoal mas também, dependendo da localização específica do traumatismo, de acidentes motorizados, pedestres, quedas, acidentes de trabalho, entre outros (Smith et al., 2003; Corey, 2005).

A presença de uma fractura não indica necessariamente uma agressão directamente infligida naquele preciso local (Cunha e Pinheiro, 2006). Os ossos

cranianos, quando atingidos tendem a dobrar internamente e no caso de se produzirem fracturas concêntricas (com bisel interno) podem ocorrer fora do local do impacto. O instrumento contundente leva à flexão das placas de osso para dentro e podem surgir fracturas concêntricas, perpendiculares às radiais. As fracturas em anel, em redor do buraco occipital, são produzidas, não por um impacto directo nessa zona mas por um impacto na zona superior do crânio por objecto de natureza contundente (Cunha e Pinheiro, 2006).

Segundo Cunha e colaboradores (2005), numa perícia em que não havia qualquer suspeita de homicídio, foi detectada uma lesão craniana de natureza contundente, na zona parietal, que permitiu excluir hipóteses de acidente ou suicídio. As características da lesão, dobragem óssea e bordos cortantes, tal como sinais de hemorragia na área lesionada, permitiu concluir uma etologia perimortal, tendo sido possível acusar e condenar o indivíduo suspeito, por homicídio voluntário (Cunha et al., 2005).

É de referenciar as lesões contundentes ao nível do esqueleto pós-craniano, consistentes com quedas verticais. O facto de não serem muito frequentes mortes por queda accidental, quando surgem lesões compatíveis com queda vertical, pode concluir-se a hipótese de suicídio ou homicídio (Cunha e Pinheiro, 2006).

Os eixos dos ossos longos humanos têm uma forma tubular. Quando uma força é aplicada num plano transversal, mais ou menos perpendicular aos eixos, surgem forças de compressão na sua de impacto do osso. A zona oposta à estrutura tubular fica então sujeita a forças de tensão (Frankel e Nordin, 2001; Ozkaya e Nordin, 1999). O osso resiste mais facilmente a forças de compressão do que de tensão e quebra primeiro no sítio oposto ao local de impacto (Symes et al., 2012). Isso faz com que os ossos se quebrem em tensão antes da compressão, produzindo padrões de fractura em Y com fragmentos em forma de borboleta, as “butterfly fractures” (Reber et al., 2015).

Se não existirem fortes evidências sobre a origem do impacto, o objectivo da análise destas fracturas e a determinação da direcção do impacto, é analisar e interpretar as áreas de compressão e tensão no osso, e a direcção para onde o osso estava a dobrar antes de partir (Berryman e Symes 1998; Symes et al., 1996).

Um estudo realizado por Reber e colaboradores (2015), utilizando um pêndulo, feito com uma estrutura de madeira, pêndulo rígido, bigorna e estabilizadores de copos

metálicos ajustáveis, demonstrou que a produção e padronização das fracturas de borboletas não são tão previsíveis quanto é referenciado pela literatura. As fracturas de borboletas completas apenas surgem em 44% (n = 112/255) da amostra agregada. A produção e orientação de fracturas de borboletas completas não foram produzidas por aparelho de impacto, força de impacto, comprimento ósseo, eixo médio, espessura cortical ou momento de inércia, apenas se verificou que as lesões eram produzidas quando o osso era atingido na parte posterior ou anterior. Estes resultados levam à conclusão de que as fracturas de borboleta ocorrem frequentemente na zona côncava da parte posterior do osso, não dependendo da zona de impacto. Tornam-se imprecisas quando utilizadas como único critério de determinação da direcção da força aplicada no caso de traumatismos contundentes (Reber et al., 2015).

### 2.2.7. Lesões incisas/cortantes

As lesões cortantes são provocadas por qualquer objecto com bordos cortantes ou com pontas afiadas (por exemplo, facas, tesouras, vidro). Podem ser incisas ou cortantes, tendencialmente mais longas do que profundas e perfurantes, mais profundas que compridas. Um mesmo instrumento pode causar os dois efeitos em função do seu modo de aplicação, logo é comum detectarem-se lesões mistas (Payne-James e Vanezis, 2005; Quatrehomme e Alunni-Perret, 2006).

O que distingue uma lesão cortante de uma contundente, é que à medida que o objecto, por exemplo, uma faca, vai penetrando, corta e divide o osso. Cunha e Pinheiro (2006) referem que a visualização da área óssea afectada através do microscópio tem permitido a identificação do tipo de faca utilizado. As marcas deixadas por estas lesões são entalhes em forma de V e compressões planas em forma de U (Sauer, 1998). As punhaladas tendem a produzir pequenas incisões no local onde a faca toca o osso e o facto de, por vezes, serem tão subtis, podem passar despercebidas, o que requer uma limpeza minuciosa e cuidada (Cunha e Pinheiro, 2006).

Ubelaker (1991) refere um caso por ele resolvido que envolvia uma T-shirt com 14 marcas de corte, dos quais apenas quatro tinham correspondência óssea. Salienta, portanto, que muitas das punhaladas que penetram os tecidos moles, podem nunca chegar ao osso.

Symes e colaboradores (2012) apontam um caso em que foi difícil distinguir um acontecimento *post-mortem* de um ferimento provocado por uma faca numa costela humana. Durante uma perseguição policial, dois suspeitos fugiram para uma floresta e apenas um saiu. O cadáver do segundo suspeito foi encontrado anos mais tarde, em avançado estado de deterioração, com a presença de predadores. O patologista ao encontrar uma lesão numa das costelas, sugeriu que teria sido provocada por uma faca, apontando a etiologia médico-legal de que teria sido um homicídio. A polícia pediu uma segunda opinião sobre o caso para determinar se seria uma facada e qual o tipo de instrumento. Apesar de parecer a olho vivo que se tratava de uma ferida incisa, olhando com mais pormenor, foi possível concluir que não se tratava de lesão cortante. Foram apontadas diferenças de coloração, o que indicava que teria ocorrido já quando o corpo estava esqueletizado por contacto com o solo e outros factores ambientais. Foram identificadas igualmente dentadas provenientes de animais, concluindo que podia ter sido feito por animais e não com um objecto cortante na altura da morte (Symes et al., 2012).

Instrumentos mais possantes como machados provocam lesões mistas, corto-contundentes. Já uma faca pode provocar lesões distintas, dependendo da angulação, da força e da posição da vítima, entre outros (Cunha e Pinheiro, 2006). O impacto de um objecto cortante com força excessiva começa com uma ferida incisa no osso e pode terminar uma fractura por compressão ou tensão (Symes et al., 2012).

### 2.3. Padrões de fractura em ossos queimados

Ossos queimados têm sido o objecto de estudo de vários antropólogos e arqueólogos por mais de 70 anos (McKinley, 2000; Correia, 1997). A complexidade do processo de indução de calor, juntamente com a vasta gama de contextos onde é encontrado, proporcionou um incremento do estudo desta área (Thompson e Ulguim, 2009). Thompson (2009) argumentou no seu artigo que no fundo sabemos muito pouco sobre o efeito que a queimadura tem no osso, mas estudos recentes revelaram muita informação sobre a resposta do osso a calor, embora permaneça um desafio aplicar este conhecimento nas áreas de arqueologia e contexto forense, que envolvam ossos queimados (Thompson e Ulguim, 2009).

O tempo que um corpo está exposto ao fogo, a sua posição, o tipo de osso afectado e a condição do osso antes de ser queimado (fresco ou seco), afecta a aparência destas fracturas (Symes et al., 2012). A análise destas fracturas, juntamente com diferenças de coloração, pode ser utilizada para determinar se os ossos foram queimados ainda com os tecidos moles ou não (Symes et al., 2012).

Embora esteja dependente do encolhimento do músculo, da morfologia do corpo, da posição do corpo, a sua identificação permite ao investigador distinguir entre fracturas provocadas pelo fogo ou produzidas por outras forças, como contundente ou perfurante. É possível identificar se uma fractura ocorreu antes ou depois de o osso ser queimado, através da observação dos padrões de coloração (Hermann e Bennett, 1999).

O contexto de descoberta de ossos queimados é muito importante para antropólogos e arqueólogos forenses, uma vez que a localização, recuperação e análise, mostra ser um grande desafio (Thompson e Ulguim, 2009). Problemas como a colecta de material altamente fragmentado a partir de um conjunto de detritos, juntamente com a estabilização e armazenamento deste material, tem de ser superados (McKinley e Roberts, 1993; Dirkmaat, 2002; Correia e Beattie, 2002; Hill, Lain e Hewson, 2011; Waterhouse, 2013 e Berketa, 2014).

Naji e colaboradores (2014) falam sobre metodologias recentes de escavação que usam princípios de arqueotematologia e tecnologia SIG para investigar depósitos misturados, mas protocolos de curadoria também são requisitos de forma a assegurar que o material seja armazenado sem que se perca informação, tal como locais adequados para outros tipos de tecidos queimados, por exemplo no caso de desastres em massa (Meyer, 2003).

Sendo o fogo um dos métodos utilizados para esconder um crime, é importante perceber como é que o fogo ou uma exposição solar destrói o osso, de forma a analisar as diferenças entre as fracturas criadas pelo fogo e aquelas que aconteceram antes (Kroman e Symes, 2013). Este estudo é muito complexo e leva em consideração diversas variáveis como a temperatura, a duração do fogo e a quantidade de tecido mole presente no cadáver durante a exposição ao fogo. Todas irão influenciar o tipo de fracturas provocadas pelo fogo (Schmidt e Symes, 2008).

Compreender as modificações macroscópicas que sofre o osso é muito importante e sublinha o efeito significativo que o calor pode produzir no esqueleto. Mas

não são suficientes para explicar a relação entre o aquecimento e a modificação óssea, uma vez que são causadas por dinâmicas mais fundamentais (Thompson e Ulguim, 2009). Alteração de cor ou padrões de fractura são considerados mudanças de nível secundário, ao passo que as microscópicas são mudanças de nível primário (Thompson, 2004). Tanto uma como a outra, alteram os resultados das técnicas antropológicas e também podem afectar uma possível identificação do indivíduo (Gonçalves, 2011, 2014; Gonçalves, Cunha e Thompson, 2013; Gonçalves, Thompson e Cunha, 2013).

Hermann e Bennett (1999) descobriram que as fracturas provocadas por lesões cortantes sobrevivem à incineração, mas argumentam que é necessária uma análise dos padrões de fractura e morfologia da superfície. Sugerem que o trauma de força contundente é difícil de distinguir de fracturas relacionadas com calor (Hermann e Bennett, 1999). De Gruchy e Rogers (2002), conduziram uma experiência onde foi possível identificar marcas de cortes em ossos cremados, mas que a sua aparência poderia ser influenciada por fragmentação relacionada com o fogo.

Quando o objectivo do investigador é identificar eventos traumáticos nos restos cremados, é necessário saber que tipo de lesões se vai encontrar. Correia (1990) refere que o investigador não vai encontrar, por exemplo, depois de uma explosão, marcas de incisões nos pedaços de osso que sofreram desmembramento.

Uma vez que o foco de estudo tem sido desenvolvido à volta das modificações microscópicas, foram adoptados novos métodos, com a ajuda e participação de outras disciplinas como química física e ciências da terra (Thompson e Ulguim, 2009). O primeiro ponto de interesse envolve a influência do calor na composição dos ossos. Alterações na composição dos elementos de tração podem resultar da recristalização do calor induzido da fase inorgânica, “despejando” elementos da matriz do osso ou absorvendo elementos dos tecidos moles, madeira ou contextos de fogo (Grupe e Hummel, 1991).

Grupe e colaboradores (1991) conduziram uma análise experimental onde foi possível produzir equações de regressão linear para descrever as alterações em alguns elementos de tração. A fórmula mais robusta providenciou alterações no cálcio, fósforo e estrónio, ao passo que alterações no bário e chumbo foram menos robustas. Alterações no cobre, zinco e magnésio, parecem não estar relacionadas com o aumento de temperatura.

Herrmann e colaboradores (1988) e Grupe e colaboradores (1991), advertem para o facto que aumentos nos elementos de tração podem não ser simplesmente devidas a absorção elementar, mas a reduções no componente orgânico do osso.

Relativamente às modificações de nível secundário sofridas pelo osso, estudos recentes apoiam-se na fotografia e fotografia digital para examinar estas alterações. Outras modalidades, como o scanner de electrões microscópicos (SEM), tem sido utilizadas em estudos para examinar os efeitos do calor no osso (Holden, Phakey e Clement, 1995a, b; Quatrehomme et al., 1998; Herrmann e Bennett, 1999). Koon e colaboradores (2003) mostram o potencial do SEM na diferenciação do osso não-queimado de aquecido até baixas temperaturas.

Thompson e colaboradores (2007) falam sobre os benefícios da utilização da ressonância magnética (MRI), sendo possível obter imagens de alta resolução das alterações internas e externas do osso compacto e esponjoso, simultaneamente.

Sandholzer e colaboradores (2013) utilizaram micro tomografia computadorizada (micro CT) para obter informações sobre alterações nos tecidos duros com calor induzido, incluindo alterações nos dentes. Estudos recentes revelaram que o encolhimento por calor induzido, ocorre uniformemente pelos dentes a uma temperatura aproximada de 400°C, insignificante até 800°C e passando os 800°C a forma do dente permanece com menor contracção da raiz distal (Sandholzer et al., 2013).

O osso pode modificar dramaticamente como resultado de aquecer. Thompson (2004) refere que qualquer alteração sofrida no osso pelo calor pode afectar qualquer técnica antropológica, embora a influência varie conforme os efeitos directos ou indirectos do calor induzido. A questão não é se o aquecimento vai afectar a identificação humana, mas em que extensão (Thompson e Ulguim, 2009).

Estudos recentes parecem focar-se em duas áreas: avaliação e melhoramento de técnicas morfológicas e métricas; e se factores *ante-mortem* sobrevivem num ambiente aquecido (Thompson e Ulguim, 2009). Estudos experimentais combinados com análise estatística revelam métodos convencionais da determinação do sexo como altamente vulneráveis aos efeitos do calor induzido (Thompson, 2002, 2004 e 2005; Gonçalves, 2011 e 2014), potencialmente resultando numa classificação errada do sexo.

Outros estudos providenciaram resultados interessantes como por exemplo, lesões incisais *ante-mortem* e lesões contundentes são distinguidas de factores provenientes de aquecimento (Herrmann e Bennett, 1999; de Gruchy e Rogers, 2002); traumatismos por arma de fogo não são distinguidos (Herrmann e Bennett, 1999), embora não em todos os casos (Pope e Smith, 2004). Demonstram também o perigo de negligenciar encolhimento provocado por calor induzido na interpretação do traumatismo em ossos queimados (Thompson e Ulguim, 2009).

Podem ser encontradas também evidências de lesões patológicas que ficam preservadas nos ossos (Reinhard e Fink, 1994) como periodontose (Ulguim, 2015) e placas de arteriosclerose (Warren et al., 1999). A morfologia dentária também parece manter-se bem preservada (Schmidt, 2008; Sandholzer et al., 2013).

A análise de ossos queimados apresenta um lugar importante no âmbito da antropologia e arqueologia forense. Os restos queimados necessitam que os profissionais considerem uma variedade de alterações sofridas pelos tecidos do corpo, alterações essas altamente dependentes da relação fogo-corpo, dos tipos de tecidos envolvidos e da região topográfica do tecido. O contexto de cena de crime envolvendo ossos queimados é também altamente complexa, frágil e criminalmente significativa (Thompson e Ulguim, 2009).

### 3. Material e Métodos

Uma vez que não se consegue eliminar as variáveis intrínsecas nos humanos, a utilização de modelos animais, que permite a sua eliminação, permite um melhor controlo e observação das variáveis extrínsecas, que são o principal objectivo deste trabalho. Para a realização deste estudo foram utilizados fémures de porco (apenas de animais previamente abatidos para consumo humano e adquiridos num talho). Após a sua aquisição e após cada uma das experiências, as peças anatómicas foram alvo de: 1) descrição da peça; 2) tomada com comprimento máximo; 3) pesagem; 4) registo fotográfico. Três espécimes foram registados em 3D, com recurso a um scanner NextEngine. Foi atribuída uma sigla às peças anatómicas – OAMM (Osso, Antropologia, Marta, Matos).

Conforme o exposto no capítulo dos Resultados, houve peças ósseas que foram usadas nas experiências em estado fresco e outras que foram sujeitas às seguintes condições: cozedura em água em lume brando durante 1 hora; assamento em forno doméstico a 180°C durante 1 hora; congelamento em frigorífico doméstico. Posteriormente, os ossos foram sujeitos a várias experiências. Devido às dificuldades no desenvolvimento do mecanismo para fracturar os ossos, e que serão descritas adiante no capítulo dos Resultados, o protocolo de investigação foi sendo adaptado.

Os ossos foram fracturados num pendulo (figura 29) e em três foram acoplados sensores modelo SingleTact - miniature force sensors (figura 33), de forma a ser possível medir com precisão, em newtons (um newton corresponde à força exercida sobre um corpo de massa igual a 1 kg que lhe induz uma aceleração de 1 m/s<sup>2</sup> na mesma direção e sentido da força), a força exercida pela máquina no osso.

Os ossos frescos e os congelados foram, simultaneamente, sujeitos a uma queima de 900°C numa mufla, de forma a observarmos as alterações sofridas.

## 4. Resultados

Para a realização deste trabalho, com o apoio da equipa de Engenharia Mecânica, foram feitos vários testes até se conseguir desenvolver o equipamento necessário à indução de traumatismos nos ossos. Apesar dos esforços conjuntos, com a equipa de Engenharia Mecânica, este foi um processo longo, que se descreve de seguida. As figuras encontram-se no final deste documento e no CD em anexo está algum material de apoio.

### 4.1. Experiência nº1

- 23 de Janeiro de 2017 – dirigimo-nos ao Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) do Pólo II da Universidade de Coimbra para realizar algumas experiências em ossos frescos, utilizando um pêndulo (figura 1) já existente no DEM. Os resultados não foram conclusivos, pois além de ter sido necessário serrar as epífises das peças anatómicas (figura 2), para que encaixassem no aparelho, o impacto fragmentava na totalidade a peça, impossibilitando a sua posterior análise (vídeo 1).

### 4.2. Experiência nº2

- 27 de Março de 2017 – Foram realizados, através do scanner NextEngine, os modelos 3D de três peças anatómicas de porco (tabela 1). Num primeiro passo, a base da plataforma rotativa do scanner, onde se colocou cada osso, foi revestida com película aderente de forma a manter-se limpa e colocou-se um prato de plástico para evitar que a peça óssea se movimentasse durante a aquisição do modelo 3D. Como os ossos estavam ainda frescos não foi possível colocá-los na vertical (pousados sob a superfície distal) e prende-los com o gancho do suporte da plataforma que serve para segurar as peças durante a aquisição 3D. Alterámos os ossos para a posição horizontal (pousados sob a sua superfície posterior - figuras 3 e 4). Após a primeira tentativa de realização do scanner, verificámos que não apanhava o osso no seu todo, deixando no modelo 3D algumas zonas “vazias” e extremamente brancas, justificando-se pela luz do flash da

câmara do scanner (figura 5). Os ossos foram ainda numerados com caneta de acetato nas extremidades, para ser possível unir os pontos no programa do scanner (figura 6). Assim, foi possível realizar três experiências, respectivamente, com cada osso adquirido, com sucesso.

**Tabela 1** – Dados dos primeiros três ossos utilizados.

OAMM	Comprimento do osso (cm)	Peso do osso (g)
Nº 1	183	335,50
Nº 2	205	424,90
Nº 3	215	428,60

Ainda neste dia foi realizada outra experiência, com um pêndulo de forma cúbica, que pesava 327,90g, suportado por um tripé e puxado por uma corda que circulava por uma roldana fixa no topo do tripé (figura 7). Apresentava três pesos que foram colocados dentro do pêndulo, pesando respectivamente: 318,4g; 270,8g e 300,3g. Na totalidade, o peso do pêndulo rondava 1kg, aproximadamente (figura 8).

Seguidamente, foram realizadas várias tentativas de forma a verificar se era possível partir um dos ossos escolhidos, o nº1 (figura 9).

Em qualquer uma das experiências verificou-se que, apesar de ser alinhado previamente utilizando um fio-de-prumo e um ponteiro digital, o pêndulo quando caía atingia o osso de lado, quer estivesse sozinho ou isolado e fixo numa caixa de cartão com papel de celofane.

Podemos concluir que, uma vez que o osso está fresco, mantém algumas das propriedades, como a existência de água e elasticidade e que, quando sujeito a um impacto, vai ripostar e impedir que seja feita uma fractura. Apenas se verificaram pequenas lacerações deixadas pelo pêndulo, após diversas pancadas.

Foi decidido congelar os ossos para que perdessem a água existente, esperando que, ao congelar, se tornassem mais frágeis e, por isso, mais fáceis de fracturar.

### 4.3. Experiência nº3

- 3 de Julho de 2017 – Foram adquiridos 8 ossos frescos de porco, de forma a realizar um estudo envolvendo cozedura e queima num forno doméstico. Foram acondicionados e congelados durante 2 dias.

- 5 de Julho de 2017 – Dos 6 ossos, 3 foram submetidos a cozedura, em lume brando, durante 1h (figuras 10, 11 e 12) e os outros 3 ossos foram assados num forno doméstico a 180 graus durante 1h (figuras 13, 14 e 15). Os restantes 2 ossos foram apenas descongelados e guardados no frigorífico (figuras 16 e 17, e tabela 2).

**Tabela 2** – Dados dos ossos antes das experiências.

OAMM	Cozidos	Assados	Frescos	Comprimento do osso (cm)	Peso do osso (g)
Nº 4	X			210	329
Nº 5	X			195	212
Nº 6	X			202	283
Nº 7		X		230	207
Nº 8		X		196	211
Nº 9		X		204	217
Nº 10			X	216	309
Nº 11			X	199	277

Foi observado após a cozedura que os ossos adquiriram uma cor acastanhada e mantiveram a sua forma inicial (figuras 18, 19 e 20).

Os ossos submetidos à assadura em forno doméstico adquiriram uma cor preta, verificando-se que algumas zonas não ficaram totalmente queimadas (figuras 21, 22 e 23). Contudo, o osso nº8 fracturou na totalidade durante o processo (figura 24). Todos os ossos foram acondicionados em película de alumínio e saco de plástico, devidamente etiquetados.

- 6 de Julho de 2017 – Dirigimo-nos para o Aeródromo da Lousã, ao Laboratório de Estudos Sobre Incêndios Florestais, situado num centro de investigação da ADAI (Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial) para ajudar no desenho da nova máquina. O osso OAMM N°11 ficou com o serralheiro Sr. Sérgio Padilha para o equipamento ser terminado com as medidas mais correctas (de forma a prender o osso).

Ainda neste dia foram adquiridos mais 4 ossos frescos (figuras 25, 26, 27 e 28, e tabela 3)

**Tabela 3** – Dados dos restantes ossos frescos.

OAMM	Comprimento do osso (cm)	Peso do osso (g)
N° 12	205	338
N° 13	200	286
N° 14	203	293
N° 15	205	298

#### 4.4. Experiência nº4

- 7 de Julho de 2017 – Regressámos ao Aeródromo da Lousã, ao Laboratório de Estudos Sobre Incêndios Florestais, para iniciar o estudo experimental com a máquina que tinha o pêndulo já terminada (figura 29). Inicialmente foram efectuados testes para verificar se a máquina funcionava com o peso que continha.

O OAMM fresco nº11 foi o primeiro a ser utilizado e não partiu com a carga inicial do pêndulo (vídeo 2). Foram anexados mais 20 kg de peso à máquina, repetiu-se a experiência e não resultou. Anexaram-se mais 6 kg de peso e o osso partiu, resultando numa fractura linear sem esquirolas. (vídeo 3 e figura 30).

O OAMM fresco nº10 com uma carga adicional de 20 kg partiu, observando-se uma fractura linear com esquirola (vídeo 4 e figura 31).

No OAMM fresco nº12 experimentámos retirar 5 kg de carga adicional e não partiu. Ao voltar ao peso estabelecido de 20 kg, partiu e resultou numa fractura linear com esquirolas, embora uma dela tenha ficado agarrada aos tecidos moles (vídeo 5 e figura 32).

De seguida foram utilizados mais 2 OAMM frescos com sensores (modelo SingleTact, miniature force sensors - figura 33). O sensor foi fixado ao osso com fita-cola isoladora para iniciar a experiência.

O OAMM fresco nº13 partiu com a carga adicional de 20kg, com a força registada de 60N (gráfico 1), observando-se uma fractura linear sem esquirolas (vídeo 6 e figura 34).

Voltámos a testar, desta vez com um sensor incluído, retirar 5 kg de carga e o OAMM fresco nº15 não partiu, apesar da força registada ter sido de 130N (vídeo 7, gráfico 2 e figura 35).

Passámos para as experiências com os ossos que tinham sido previamente cozidos e o OAMM nº6, onde não foi utilizado sensor, apenas com uma carga de 15 kg partiu, formando uma fractura linear com algumas fissuras (figura 36).

Em contrapartida, já com sensor, o OAMM nº5 com uma carga de 20kg não partiu, embora a força exercida tenha sido de 90N (vídeo 8, gráfico 3 e figura 37).

Dos 3 ossos assados em forno doméstico, apenas foi possível utilizar um, já que o OAMM nº8 partiu dentro do forno ao assar e o nº9 partiu durante a viagem (figura 38).

No OAMM nº 7 não foi utilizado sensor e com uma carga de 20 kg partiu, observando-se uma fragmentação com múltiplas esquirolas (vídeo 9 e figura 39).

Finalmente, utilizámos apenas 2 dos 3 ossos previamente congelados e o OAMM nº2, com uma carga de 20 kg, partiu, fracturando-se linearmente, podendo-se observar algumas esquirolas ainda aderentes aos tecidos moles (vídeo 10 e figura 40) e o OAMM nº3, com uma carga de 15 kg, partiu de forma linear, formando esquirolas, tendo ficado uma agarrada pelos tecidos moles (figura 41). Não foram utilizados sensores.

## 4.5. Experiência nº5

Ainda no mesmo dia (7 de Julho de 2017), regressámos ao Laboratório de Antropologia Forense da FCTUC e com a nossa amostra, 9 ossos, dos quais 3 eram congelados e os restantes 6 eram frescos, foram sujeitos a uma temperatura de 900°C na mufla, durante aproximadamente 2 horas. O OAMM fresco nº14 e o OAMM congelado nº1 não foram fracturados previamente, embora o nº1 tenha feito parte da experiência do dia 27 de Março.

Os ossos foram ordenados previamente (figura 42) e introduzidos na mufla em duas prateleiras de cerâmica (figuras 43, 44 e 45).

- 8 de Julho de 2017 – A amostra foi retirada da mufla na parte da tarde (Figura 46), previamente organizados e transportados para o Laboratório de Antropologia Forense para nova análise e registo fotográfico.

Análise tafonómica dos OAMM queimados:

→ OAMM nº1: apresenta uma cor cinzenta clara com algumas manchas mais escuras, na zona da diáfise e algumas manchas acastanhadas de restos de tecidos moles, predominantemente nas epífises. Algumas das fissuras encontradas, podem ter sido provocadas pelas pequenas lacerações deixadas pelo pêndulo da experiência realizada no dia 27 de Março, tendo as restantes sido causadas pela acção do calor (figura 47).

→ OAMM nº2: apresenta uma cor cinzenta clara com manchas acastanhadas, inclusivamente do tecido medular. Os trocânteres, cabeça do fémur e côndilos separaram-se totalmente. A fractura pré-existente manteve-se linear, apesar de encontrarmos alguma fragmentação (figura 48).

→ OAMM nº3: apresenta cor cinzenta clara com manchas acastanhadas dos tecidos moles e medulares. A fractura pré-existente (linear com esquirolas) apenas aumentou o número de fragmentos (figura 49).

→ OAMM nº10: apresenta uma cor cinzenta clara com manchas acastanhadas de tecidos moles nas epífises, estas encontram-se bastante fissuradas. A diáfise está bastante fragmentada, a partir da linha de fractura pré-existente. Ao manusear a peça, para registo fotográfico, houve separação completa dos côndilos (figura 50).

→ OAMM nº11: apresenta uma cor cinzenta clara com manchas acastanhadas de tecidos moles. A epífise proximal encontra-se com a cabeça e trocânteres totalmente separados do resto da peça. A epífise distal encontrava-se apenas fissurada, no entanto com o manuseamento para registo, separou-se. A fractura pré-existente manteve-se linear, havendo apenas alargamento de fissuras já existentes (figura 51).

→ OAMM nº12: apresenta uma cor cinzenta clara com manchas acastanhadas de tecidos moles e medulares. Na epífise proximal observamos fissuras, na distal houve total separação da mesma, ao manusear a peça. A fractura pré-existente manteve-se linear, aumentando substancialmente o número de fragmentos (figura 52).

→ OAMM nº13: apresenta uma cor cinzenta clara com manchas acastanhadas de tecidos moles, embora a epífise distal na sua parte posterior, mostre um cinzento bastante mais escuro. As epífises encontram-se fissuradas sem separação. A fractura pré-existente fragmentou, havendo alargamento das fissuras já existentes (figura 53).

→ OAMM nº14: apresenta uma cor cinzenta clara com poucas manchas acastanhadas de tecidos moles. Esta peça não sofreu previamente qualquer tipo de trauma. No entanto, encontra-se totalmente fissurada pela desidratação e perda de elasticidade, provocada pela acção do calor. O manuseamento provocou a sua fragmentação (figura 54).

→ OAMM nº15: apresenta uma cor cinzenta clara com poucas manchas acastanhadas de tecidos moles, no entanto na parte posterior encontramos um cinzento muito mais escuro. As epífises encontram-se fissuradas, separando-se após o seu manuseamento. Diáfise sem fractura pré-existente, com bastantes fissuras na parte anterior, na zona de impacto do pêndulo, embora não tenha havido alterações visíveis a olho nu, antes de ser queimado (figura 55).

Todas as peças anatómicas deixaram, na placa de cerâmica da mufla, resíduos dos tecidos moles (figura 56). Os dados relativos à perda de massa encontram-se na tabela 4.

Fica ainda a informação de que foi recolhido todo o material libertado durante o manuseamento das peças queimadas, para posterior análise química. Fica em aberto o resultado de uma comparação entre a análise desta amostra e o resultado de análises similares efectuadas a material ósseo humano queimado.

**Tabela 4** – Dados da massa das peças anatómicas, para cálculo da sua desidratação.

OAMM	Peso do osso antes de queimar a 900° graus (g)	Peso do osso depois de queimar a 900° graus (g)	Peso que o osso perdeu (g)
N° 1	335.50	84.40	251.10
N° 2	424.90	113.00	311.90
N° 3	428.60	89.90	338.70
N° 10	309.00	85.90	223.10
N° 11	277.00	99.80	177.20
N° 12	338.00	96.50	241.50
N° 13	286.00	79.80	206.20
N° 14	293.00	79.50	213.50
N° 15	298.00	85.80	212.20
Total	2990.00	814.60	2175.40
Média	332.22	90.51	241.71
Desidratação (%)	72.76		

## 5. Discussão

É sabido que a degradação óssea está directamente ligada com as alterações tafonómicas, portanto todos os factores extrínsecos vão ter impacto directo no estado em que encontramos qualquer peça anatómica que seja necessário estudar. Com todas estas experiências tentámos replicar alguns factores extrínsecos como traumatismos por força contundente e acção do frio e do calor na nossa amostra.

### **Experiência nº1**

Foram realizados vários testes com este pêndulo, verificando-se que poderá não ser o mecanismo mais adequado para o efeito, uma vez que limita o tamanho da peça anatómica, neste caso, obrigando a serrar as epífises, o que pode ter tornado o osso mais frágil, embora encontrando-se fresco.

A carga exercida pelo pêndulo desfazia o fémur, podendo influenciar a fractura observada, pois a sua reacção não terá sido certamente a mesma, uma vez que não se encontrava completo.

É de ressaltar, ainda, que o formato do pêndulo não é o mesmo adequado, uma vez mais porque restringe o comprimento ósseo. Mas, não invalida o facto de que pode ser utilizado noutros tipos de experiências, nomeadamente, com peças ósseas mais pequenas.

### **Experiência nº2**

Quanto ao scanner 3D NextEngine, devemos ressaltar a sua importância. É uma forma de melhor documentar as alterações provocadas, quer por traumatismos, quer por alterações tafonómicas. Serve também de *guideline* para futuras pesquisas, possibilitando a partilha de informação com vários investigadores.

No teste com o segundo pêndulo (de forma cúbica, com 1kg de massa total), observámos que, apesar de alinhado, rodava quando atingia o osso, desferindo um golpe

que provocou apenas pequenas lacerações superficiais. Podemos daqui retirar que o osso mantinha as suas propriedades elásticas, ripostando e impedindo a fractura.

Podemos ainda dizer que o pêndulo poderia não exercer carga suficiente para provocar mais do que essas pequenas lacerações. No entanto, as mesmas terão influenciado o resultado da queima do OAMM nº1, utilizado nesta experiência.

### **Experiência nº3**

Após a cozedura dos OAMM nº4, 5, 6, observámos alterações na sua cor, pois a água cozinhou os tecidos moles, não tendo alterado significativamente a sua forma, logo manteve a elasticidade óssea.

Já os ossos submetidos a queima em forno doméstico, adquiriram uma cor preta, o esperado neste tipo de temperatura (180° C, durante 60 minutos). As propriedades típicas de um osso fresco foram efectivamente alteradas pela temperatura, perdendo grande parte da água, o que fez com que a sua elasticidade fosse também grandemente afectada, tornado o osso leve e frágil.

### **Experiência nº4**

Esta experiência, efectuada num dos centros de investigação da ADAI, tem grande importância devido à colaboração e supervisão de Engenheiros especializados na área da mecânica, permitindo a utilização de mecanismos mais adequados para o efeito pretendido. Apesar de ter sido necessário fazer várias alterações à massa original do pêndulo, este mostrou-se eficiente nas várias experiências efectuadas.

Os OAMM que se encontravam frescos, maioritariamente fracturaram em média com uma carga de mais 20kg. Esta massa mostrou-se capaz de desferir um golpe contundente, provocando fracturas lineares, logo ultrapassando a capacidade de absorção de força das peças envolvidas na experiência.

Os OAMM previamente cozidos, não mostram, de forma conclusiva, resultados, pois de duas peças, uma fracturou e a outra não, embora as cargas utilizadas fossem também diferentes.

O OAMM n°7 (assado em forno doméstico), embora tenha sido o único que foi possível utilizar na experiência, mostrou os resultados esperados para a sua condição. Nomeadamente, a sua fragmentação em múltiplas esquirolas, devido à sua fragilidade e perda de propriedades elásticas e plásticas.

Os OAMM congelados, reagiram de forma similar (fracturas lineares com presença de esquirolas), embora as cargas utilizadas fossem diferentes.

Quanto aos resultados da utilização dos sensores, podemos observar gráficos bastante díspares, o que não permite qualquer tipo de comparação, pois um osso fresco partiu com 60N de carga, o que mostrou que não teve grande poder de absorção de energia. Em relação aos dois ossos que não partiram, o cozido teve a força exercida de 90N e o fresco de 130N, o que mostra que este poderá ter maior resistência, pois absorveu mais energia que o cozido. Este último, supostamente, devia quebrar mais rapidamente que o primeiro. De qualquer forma, é de salientar que três testes não são definitivamente suficientes para ter uma conclusão sólida, uma vez que foram todos avaliados em condições diferentes (carga aplicada e estado da peça óssea).

Para finalizar, quero apenas dizer que os ossos queimados (forno doméstico) mostraram-se mais frágeis e, logo, mais facilmente quebráveis. Todos os outros mostraram manter ainda algumas das suas capacidades elásticas, embora tivessem sido submetidos a diferentes ambientes (cozedura, congelação e refrigeração).

## **Experiência n°5**

Quanto à última experiência, a queima de nove ossos em mufla do Laboratório de Antropologia Forense da FCTUC, esta foi bem sucedida, pois não houve entraves ou falhas na utilização do material. Os OAMM submetidos à queima mostraram resultados expectáveis. Nos ossos previamente fracturados, observámos fragmentação e alargamento/aumento das fissuras na zona traumatizada. Havendo mesmo dificuldade em distinguir as fracturas provocadas pelo mecanismo pendular e as provocadas pela acção do calor.

É de ressaltar, que o OAMM n°14 foi submetido à queima sem qualquer trauma prévio. Após a queima, observámos apenas a sua deformação plástica, típica nestes casos. E ainda, o OAMM n°1, utilizado na Experiência 2, onde sofreu pequenas

lacerações. Na zona do trauma, encontramos fissuras que poderão ser consequência directa dessas microfracturas, demonstrando que, mesmo pequenas alterações têm influência no resultado final. Observámos também que o local da separação das epífises poderá estar relacionado com a união óssea, relativa ao crescimento dos ossos longos.

Concluindo, observámos uma elevada perda percentual do peso da amostra, na casa dos 70%, mostrando a desidratação provocada pelo calor extremo.

## 6. Conclusão

Após todo este trabalho experimental, podemos concluir que a aparência e a forma dos traumatismos ósseos reflectem não só a forma, a área, a massa, a velocidade e a direcção do instrumento produtor da lesão, como também a força intrínseca, a anatomia, a espessura, o conteúdo mineral e o estado geral do osso afectado (Ubelaker, 1991; Smith et al., 2003).

O factor mais importante é a dinâmica, relação entre a força e o movimento. O conceito de força é algo intuitivo mas, para compreendê-lo, pode-se basear em efeitos causados por ela, como por exemplo, a deformação (faz com que o corpo mude o seu formato, quando sofre a acção de uma força). O osso resiste mais facilmente a cargas mais leves, uma vez que exercem menos força do que cargas maiores em que a pressão sobre o osso aumenta, sendo objectos de origem contundente os utilizados neste estudo, para demonstrar a capacidade de absorção de energia, assim como os efeitos de quando esta é ultrapassada.

Quando uma força é aplicada num plano transversal, mais ou menos perpendicular aos eixos, surgem forças de compressão na sua de impacto do osso. A zona oposta à estrutura tubular fica então sujeita a forças de tensão (Frankel e Nordin, 2001; Ozkaya e Nordin, 1999). O osso resiste mais facilmente a forças de compressão do que de tensão e quebra primeiro no sítio oposto ao local de impacto (Symes et al., 2012). Isso faz com que os ossos se quebrem em tensão antes da compressão, produzindo padrões de fractura em Y com fragmentos em forma de borboleta, as “butterfly fractures” (Reber et al., 2015), como podemos verificar em algumas das peças ósseas.

O tipo de osso afectado, a condição em que o osso se encontra, antes de ser queimado (fresco ou seco), afecta a aparência destas fracturas (Symes et al., 2012). A observação destas fracturas juntamente com a diferença de coloração, pode ser usada para determinar se os ossos foram queimados ainda com grandes ou pequenas quantidades de tecidos moles. É importante perceber como é que a temperatura destrói o osso, de forma a analisar as diferenças entre as fracturas térmico-induzidas e aquelas que aconteceram antes da acção do calor (Kroman e Symes, 2013). Este estudo é muito

complexo e leva em consideração diversas variáveis como a temperatura, a duração do fogo e a quantidade de tecido mole presente no osso durante a exposição ao fogo. Todas irão influenciar o tipo de fracturas provocadas pelo fogo (Schmidt e Symes, 2008), e compreender as suas modificações macroscópicas, é essencial.

A análise de ossos queimados apresenta um lugar importante no âmbito da antropologia e arqueologia forense. Os restos queimados necessitam que os profissionais considerem uma variedade de alterações sofridas pelos ossos, alterações essas dependentes da relação fogo-osso.

## Bibliografia

- Ayers, L.E. (2010) *Differential Decomposition in Terrestrial Freshwater and Saltwater Environment*. Dissertação de Mestrado na Universidade de San Marcos, Texas State.
- Aufderheide, A.C. & Rodríguez-Martín, C. (1998) *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Beary, M. & Lyman, R. (2012) The Use of Taphonomy in Forensic Anthropology: Past Trends and Future Prospects. In: D.C. Dirkmaat (eds) *A Companion to Forensic Anthropology*. Chichester, Blackwell Publishing Ltd: 499-527.
- Berryman, H. E. & Haun, S. J. (1996) Applying forensic techniques to interpret cranial fracture patterns in archaeological specimens. *International Journal of Osteoarchaeology* 6:2-9.
- Berryman, H.E. & Symes, S.A. (1998) Recognizing gunshot and cranial blunt trauma through fracture interpretation. In: Reichs, K. (ed) *Forensic osteology: advances in the identification of human remains*. Springfield. Charles C. Thomas: 218-228.
- Berketa, J.W.; James, H.; Langlois, N.E.I. & Richards, L.C. (2014) A study of osseointegrated dental implants following cremation. *Australian Dental Journal* 59: 149-55.
- Bonucci, E. & G. Graziani (1975) Comparative thermogravimetric, x-ray diffraction and electron microscope investigations of burnt bones from recent, ancient and prehistoric age. *Atti Memorie Accademia Nazionale die Lincei Scienze, Fisiche, Matem, . Naturali*, Ser. 8, Sec. 2A (Roma) 59:517-534
- Brothwell, D.R. (1981) *Digging up Bones* (3<sup>rd</sup>edn) London: British Museum (Natural History).
- Brown, A. (2006) The use of forensic botany and geology in war crimes investigations in NE Bosnia. *Forensic Science International* 16 (3): 204-210.

- Buekenhout, I. (2014) *Quando só restam ossos: Estudo da degradação e alteração óssea para a estimativa do intervalo post-mortem*. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Medicina na Universidade de Coimbra, Portugal.
- Cattaneo, C.; Porta, D.; Angelis, D. & Grandi, M. (2006) Personal identification of cadavers and human remains, *In: A. Schmitt, E. Cunha & J. Pinheiro (eds) Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences from Recovery to Cause of Death*, pp. 359-379. Totowa, NJ: Humana Press.
- Cheetham, P. & Hanson, I. (2008) Excavation and recovery. *In: D. Ubelaker & S. Blau (eds) World Archaeological Congress Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology*. World Archaeological Congress. Left Coast Press. California (in press).
- Connor, M. & Scott, D.D. (2001) Paradigms and perpetrators. *Journal of Historical Archaeology* 35:1, 1-6.
- Corey, T. (2005) Blunt injury. *In: Payne-James, J.; Byard, R. W.; Corey, T. S. & Henderson, C. (eds) Encyclopedia of forensic and legal medicine*. San Diego, Elsevier/Academic Press.
- Correia, P. M. (1990) *The identification of precremation trauma in cremated bone*. Dissertação de Mestrado na Universidade de Alberta.
- Correia, P.M. (1997) Fire modification of bone: A review of the literature. *In: W.D. Hanglund & M.H. Sorg (eds) Forensic Taphonomy: The Post-Mortem Fate of Human Remains: 275-93*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Correia, P.M. & Beattie, O. (2002) A critical look at methods for recovering, evaluating and interpreting cremated human remains, *In: W.D. Hanglund & M.H. Sorg (eds) Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory and Archaeological Perspectives: 435-50*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cox, M.; Flavel, A.; Hanson, I.; Laver, J. & Wessling, R. (eds). (2007) *The scientific investigation of mass graves*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Crawford, A.J. (1983) *Outline of Fractures* (8<sup>th</sup>ed) New York: Churchill Livingstone.
- Cunha, E. (2006) Pathology as a factor of individualization in forensic anthropology. *In: Schmitt, A.; Cunha, E.; Pinheiro, J. (eds.) Forensic*

*anthropology and medicine: complementary sciences from recovery to cause of death.* Totowa, Humana Press: 333-358.

- Cunha, E. & Cattaneo, C. (2006). Forensic Anthropology and forensic pathology: the state of the art, *In: Schmitt, A.; Cunha, E.; Pinheiro, J. (eds) Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences From Recovery to Cause of Death*, pp. 39-53. Totowa, NJ: Humana Press.
- Cunha, E.; Pinheiro, J. & Corte-Real, F. (2005) Two Portuguese homicide cases: the importance of interdisciplinary in forensic anthropology. *ERES Arqueologia/Bioantropologia*, 13:65-72.
- Cunha, E. & Pinheiro, J. (2006) A linguagem das fracturas: a perspectiva da Antropologia Forense. *Antropologia Portuguesa*, 22/23, 2005/2006: 223-243.
- Cunha E. & Pinheiro, J. (2007) Forensic anthropology in Portugal: From current practice to future challenges, *In: M. Brickley & R. Frellin (eds), Forensic Anthropology: Case Studies from Europe*, pp. 38-57. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Cunha, E. & Pinheiro, J. (2007a) Routine expertises of forensic anthropology in Portugal. *In: Brickley, M. & Ferllini, R. (eds) Forensic anthropology: case studies from Europe*. Springfield. Charles C. Thomas: 38-57.
- Cunha, E. & Pinheiro, J. (2016) Ante-mortem trauma. *In: Blau, S. & Ubelaker, D. (eds) Handbook of forensic anthropology and archaeology (2<sup>nd</sup> ed)*. Routledge. New York: 322-345.
- Dautartas, A.M. (2009) *The Effect of Various Coverings on the Rate of Human Decomposition*. Dissertação de Mestrado na Universidade de Tennessee.
- deGruchy, S. & Rogers, T.L. (2002) Identifying chop marks on cremated bone: a preliminary study. *Journal of Forensic Sciences*, 47(5): 933-936.
- Dirkmaat, D.C. (2002) Recovery and interpretation of the fatal fire victim: The role of forensic anthropology, *In: W.D. Hanglund & M.H. Sorg (eds) Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory and Archaeological Perspectives*: 451-72. Boca Raton, FL: CRC Press.

- Dirkmaat, D.C.; Cabo, L.L.; Ousley, S.D. & Symes, S.A. (2008) New perspectives in forensic anthropology. *Yearbook of Physical Anthropology*, 51, 33-52.
- Eckert, W.G., 1981. The medico-legal and forensic aspects of fire. *Am. J. For. Med. Path.* 2(4):347-357.
- Efremov, J.A. (1940) Taphonomy: New branch of Paleontology. *Pan-American Geologist*, 74:81-93.
- Foisey, R. P. (1986) Commission of Inquiry Hinton Train Collison, Report of the Commissioner, The Honourable Mr. Justice Rene' P. Foisy, Ottawa: Canadian Government Publishing Center, December.
- Ferreira, M.T. (2012) *Para lá da morte: estudo tafonómico da decomposição cadavérica e da degradação óssea e implicações na estimativa do intervalo pós-mortem*. Dissertação de Doutoramento em Antropologia Forense, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Portugal.
- Ferreira, M.T. & Cunha, E. (2013) Can we inter post mortem interval on the basis of decomposition rate? A case from a Portuguese cemetery. *Forensic Science International*, 126: 298e1-298-e6.
- Fielder, S. & Graw, M. (2003) Decomposition of buried corpses with special reference to the formation of adipocere. *Springer*, 90:291-300.
- Forbes, S.L.; Stuart, B.H.; Dadour, I.R. & Dent, B.B. (2004) A preliminary investigation of the stages of adipocere formation. *Journal of Forensic Sciences*, 49(3): 566-574.
- Forbes, S.L.; Stuart, B.H. & Dent, B.B. (2005) The effect of burial environment on adipocere formation. *Forensic Science International*, 154: 24-35.
- Frankel, V.H. & Nordin, M. (1980) *Basic Biomechanics of the Skeletal System*. Philadelphia, Lea & Febiger.
- Frankel, V.H. & Nordin, M. (2001) Biomechanics of bone. In: M. Nordin & V. H. Frankel (eds) *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*, 3<sup>rd</sup>edn (pp. 26-59). Lippincott, Williams and Wilkins, Philadelphia, PA.

- Gleason, M. (2008) The search for human remains in the search and rescue environment. [Documento electrónico]: <http://www.sarti.us/sarti/files/SearchForHumanRemains.pdf> acessado a 22 de Fevereiro de 2017.
- Gonçalves, D. (2011) The reliability of osteometric techniques for the sex determination of burned human skeletal remains. *Homo* 62:351-58.
- Gonçalves, D. (2014) Evaluation of the effect of secular changes in the reliability of osteometric methods for the sex estimation of Portuguese individuals. *Cadernos do GEEvH* 3(1): 53-65.
- Gonçalves, D.; Cunha, E. & Thompson, T.J.U. (2014) Estimation of the pre-burning condition of human remains in forensic contexts. *International Journal of Legal Medicine*. [http:// dx.doi.org/10.1007/s00414-014-1027-8](http://dx.doi.org/10.1007/s00414-014-1027-8).
- Gonçalves, D.; Thompson, T.J.U. & Cunha, E. (2013) Osteometric sex determination of burned human skeletal remains. *Journal of Forensic Legal Medicine* 20: 906-11.
- Gozna, E.R. (1982) Biomechanics of long bone injuries. In: E.R. Gozna & I.J. Harrington (eds) *Biomechanics of Musculoskeletal Injury* (pp. 1-24) Williams and Wilkins, Baltimore, MD.
- Grupe, G. & Hummel, S. (1991) Trace element studies on experimentally cremated bone. I. Alteration of the chemical composition at high temperatures. *Journal of Archaeological Science* 18: 177-86.
- Haglund, W.D.; Reavy, D.T. & Swindler, D.R. (1988) Tooth marks artifacts and survival of bones in animal scavenged human skeletons. *Journal of Forensic Sciences*, 33(4): 985-997.
- Haglund, W.D.; Reavy, D.T. & Swindler, D.R. (1989) Canid scavenging disarticulation sequence of humans in the Pacific Northwest. *Journal of Forensic Sciences*, 33(4): 587-606.
- Haglund, W.D. (1991) *Applications of taphonomic models to forensic investigations*. Dissertação de Doutoramento na Universidade de Washington.
- Haglund, W.D. & Sorg, M.H. (eds) (1997) *Forensic Taphonomy: The Post-Mortem Fate of Human Remains*. CRC Press, Boca Raton, FL.

- Haglund, W.D. (2001) Recent mass graves, an introduction. *In: Haglund, W.D. & Sorg, M.H. (eds). Advances in Forensic Taphonomy*, Boca Raton, FL: CRC Press, pp.243-261.
- Hanglund, W.D. & Sorg, M.H. (eds) (2002a) *Advances in Forensic Taphonomy: Methods, Theory and Archaeological Perspectives*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hanson, I. (2004) The importance of stratigraphy in forensic investigation. *In: Pye, K & Croft, D.J. (eds) Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society, London, Special Publications, 232: pp.39-47.
- Hanson, I. (2007) Forensic archaeology: approaches to international investigations. *In: Oxenham, M. (ed) Forensic Approaches to Death, Disaster and Abuse*. University of Western Australia Press. Perth.
- Heglar, R., 1984. Burned remains. *In: T. Rathbun and J.E. Buikstra (eds.), Human Identification: Case Studies in Forensic Anthropology*, pp. 148-158, Springfield: C.C. Thomas Publishing.
- Herrmann, N.P. & Bennett, J.L. (1999) The differentiation of traumatic and heat-related fractures in burned bone. *Journal of Forensic Sciences*, 44(3): 461-469.
- Herrmann, N.P. & Grupe, G. (1988) Trace element content in prehistoric cremated human remains. *In: G. Grupe & B. Herrmann (eds) Trace Elements in Environmental History*. Proceedings of the Symposium held from June 24-26, 1987, at Gottingen: 91-101. Berlin: Springer-Verlag.
- Hill, A.J.; Lain, R. & Hewson, I. (2011) Preservation of dental evidence following exposure to high temperatures. *Forensic Science International* 205: 40-3.
- Holden, J.L.; Phakey, P.P. & Clement, J.G. (1995a) Scanning electron microscope observations of incinerated human femoral bone: A case study. *Forensic Science International* 74: 17-28.
- Holden, J.L.; Phakey, P.P. & Clement, J.G. (1995b) Scanning electron microscope observations of heat-treated human bone. *Forensic Science International* 74: 29-45.

- Holland, T. D. & Connell, S. (2009) The Search and Detection of Human Remains. In: Blau, S. & Ubelaker, D. (eds) *Handbook of forensic anthropology and archaeology: digging deeper: current trends and future directions in forensic anthropology and archaeology*. (WAC) Research Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology.
- Hunter, J.R.; Heron, C.; Janaway, R.C.; Martin, A.L.; Pollard, A.M. & Roberts, C.A. (1994) Forensic Archaeology in Britain. *Antiquity* 68: 758-69.
- Juhl, K. (2004) The contribution by (forensic) archaeologists to human rights investigations of mass graves. *AmS-Nett* 5. Museum of Archaeology, Stavanger.
- Kanz, F. & Grossschmidt, K. (2005) Head injuries of Roman gladiators. *International Forensic Sciences*: 160(2-3): 207-16.
- Knusel, C.J. & Outram, A.K. (2006) Fragmentation of the body: Comestibles, compost or customary rite? In: R. Gowland & C. Knusel (eds) *Social Archaeology of Funerary Remains*: 253-78. Oxbow Books.
- Komar, D. (2003) Lessons from Srebrenica: The contributions and limitations of physical anthropology in identifying victims of war crimes. *Journal of Forensic Sciences* 48(4): 713-716.
- Koon, H.E.C.; Nicholson, R.A. & Collins M.J. (2003) A practical approach to the identification of low temperature heated bone using TEM. *Journal of Archaeological Science* 30:1393-99.
- Kroeber, A.L. (1916) Zuni potsherds. *American Museum of Natural History, Anthropological Papers* 18(1): 20.
- Kroman, A.M. & Symes, S.A. (2013) Investigation of Skeletal Trauma. In: DiGangi, E.A. & Moore, M.K. *Research Methods in Human Skeletal Biology*. Waltham, MA, Elsevier. In: 219-240.
- Love, J.C. & Marks, M. (2003) Taphonomy and time: estimating the post-mortem interval. In: Steadman, D.W. (ed) *Hard Evidence: case studies in Forensic Anthropology*. Upper Saddle River, Prentice Hall: 160-175.
- Lyman, R.L. (1989) Taphonomy of cervids killed by the 18 May 1980 volcanic eruption of Mount St Helen's, Washington, U.S.A. In: R. Bonnicksen and M.H.

Sorg (eds) *Bone Modification* (pp. 149-167) Center of the Study of Early Man. University of Maine, Orono, ME.

- Loe, L. (2009) Perimortem trauma. Ante-mortem trauma. *In: Blau, S. & Ubelaker, D. (eds) Handbook of forensic anthropology and archaeology: digging deeper: current trends and future directions in forensic anthropology and archaeology.* (WAC) Research Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology.
- Lyman, R.L. (1994) *Vertebrate Taphonomy.* Cambridge, Cambridge University Press.
- Mann, R.W.; Bass, W.M. & Meadows, L. (1990) Time Since Death and Decomposition of the Human Body: Variables and Observations in Case and Experimental Field Studies. *Journal of Forensic Sciences*, 35:103-111.
- Mant, A.K. (1950) *A Study of Exhumation Data.* University of London, London.
- Mant, A.K. (1987) Knowledge acquired from post-war exhumations. *In: A. Boddington, A.N. Garland and R.C. Janaway (eds) Death Decay and Reconstruction: Approaches to Archeology and Forensic Science* (pp. 10-21) Manchester University Press, London.
- Maples, W. R. (1984) The identification pathology, *In: T. A. Ratburn & J. E. Buikstra (eds), Human Identification: Case Studies in Forensic Anthropology*, pp. 363-370. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Maples, W.R. (1986) Trauma analysis by the forensic anthropologist. *In: Reichs, K. (ed) Forensic osteology: advances in the identification of human remains.* Springfield, Charles C. Thomas: 218-228.
- Mascie-Taylor, C.G.N. & Bogin, B. (eds) (1995) *Human Variability and Plasticity.* Cambridge: Cambridge University Press.
- McKinley, J.I. & Roberts, C. (1993) *Excavation and Post-Excavation Treatment of Cremated and Inhumed Human Remains.* Institute of Field Archaeologists Technical Paper 13.
- McKinley, J.I. (2000) The analysis of cremated bones. *In: M. Cox & S. Mays (eds) Human Osteology: In Archaeology and Forensic Sciences:* 403-21. London: Greenwich Medical Media Ltd.

- Meyer, H.J. (2003) The Kaprun cable car fire disaster – Aspects of forensic organization following a mass fatality with 155 victims. *Forensic Science International* 138: 1-7.
- Moyce, A. & Hanna, J.A. (2009) Factors affecting human decomposition. Report on behalf of green graves. The Questor Center, Applied Technology Unit.
- Naji, S.; de Becdelièvre, C.; Djouad, S.; Duday, H.; André, A. & Rottier, S. (2014) Recovery methods for cremated commingled remains: Analysis and interpretation of small fragments using a bioarchaeological approach, *In: B. Adams & J.E. Byrd (eds) Commingled Human Remains: Methods in Recovery, Analysis and Identification*: 33-56. London: Elsevier.
- Nawrocki, S. (1996) An Outline of Forensic Taphonomy. University of Indianapolis Archaeology & Forensic Laboratory. [Documento electrónico]: <http://archlab.uindy.edu> acedido a 22 de Fevereiro de 2017.
- Ozkaya, N. & Nordin, M. (1999) Fundamental of Biomechanics: Equilibrium, Motion and Deformation, 2nd ed (pp. 17-21; 125-147; 206-210) Springer Science and Business Media, New York.
- Passalacqua, N. V. & Rainwater, C. W. (2015) *Skeletal Trauma Analysis: Case studies in context*. Wiley-Blackwell.
- Payne-James, J. & Vanezis, P. (2005) Sharp and cutting-edge wounds. *In: Payne-James, J.; Byard R. W.; Corey, T.S. & Henderson, C. (eds) Encyclopedia of forensic and legal medicine*. San Diego, Elsevier/Academic Press: 119-129.
- Perper, J. A. (2006) Time of death and changes after death, anatomical considerations. *In: Spitz, W. & Spitz, D. (eds) Spitz and Fisher's Medicolegal Investigation of Death*. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas: 87-127.
- Pinheiro, J. (2006) Decay Process of a Cadaver. *In: Schmitt A.; Cunha, E. & Pinheiro, J. (eds) Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences from Recovery to Cause of death*. Humana Press: 85-116.
- Pinheiro, J. (2006) Introduction to forensic medicine and pathology, *In: Schmitt, A.; Cunha, E. & Pinheiro, J. (eds) Forensic anthropology and medicine: complementary sciences from recovery to cause of death*, pp. 13-37. Totowa, NJ: Humana Press.

- Pinheiro, J. & Cunha, E. (2006) Forensic investigation of corpses in various states of decomposition: a multidisciplinary approach. *In: Schmitt, A.; Cunha, E. & Pinheiro, J. (eds) Forensic anthropology and medicine: complementary sciences from recovery to cause of death.* Tottowa, Humana Press: 159-196.
- Pope, M.A. & Smith, O.C. (2004) Identification of traumatic injury in burned cranial bone: An experimental approach. *Journal of Forensic Science* 49(3): 1-10.
- Pope, M.A. (2010) *Differential decomposition patterns of human remains in variable environments of the Midwest.* Dissertação de Mestrado na Universidade de South Florida.
- Quatrehomme, G.; Bolla, M.; Muller, M.; Rocca, J.-P.; Grevin, G.; Bailet, P. & Ollier, A. (1998) Experimental single controlled study of burned bones: Contribution of scanning electron microscopy. *Journal of Forensic Sciences* 43(2): 417-22.
- Quatrehomme, G. & Alunni-Perret, V. (2006) Sharp and blunt wounds in forensic anthropology: a preliminary study. *Journal de Medecine Legale et Droit Medical*, 49(5): 173-189.
- Reber, S.L. & Simmons, T. (2015) Interpreting Injury Mechanisms of Blunt Force Trauma from Butterfly Fracture Formation. *Journal of Forensic Sciences* 60, n° 6. American Academy of Forensic Sciences.
- Reilly, D.T. & Burstein A. H. (1974) The mechanical properties of cortical bone. *Journal of Bone Joint Surgery* 56A(5): 1001-1021.
- Reinhard, K.J. & Fink, T.M. (1994) Cremation in Southwestern North America: Aspects of taphonomy that affect pathological analysis. *Journal of Archaeological Science* 21: 597-605.
- Rhine, S. & Dawson, J.E. (1998) Estimation of time since death in the South West United States. *In: Reichs, K.J. (ed) Forensic Osteology – Advances in the Identification of Human Remains.* Charles C. Thomas Publisher, Ltd: 145-159.
- Roberts, C.A. (1991) Trauma and treatment in the British Isles. *In: D.J. Ortner & A.C. Aufderheide (eds): Human Paleopathology: Current Synthesis and Future Options.* Washington D.C.: Smithsonian Inst. Press, pp. 225-240.

- Rogers, C.J. (2010) *Dating death: Forensic Taphonomy and the postmortem interval*. Dissertação de Doutorado na Universidade de Wolverhampton.
- Ross, A. H. & Cunningham, S. L. (2011) Time-since-death and bone weathering in tropical environment. *Forensic Science International*, 204:126-133.
- Sandholzer, M.A.; Walmsley, A.D.; Lumley, P.J. & Landini, G. (2013) Radiologic evaluation of heat-induced shrinkage and shape preservation of human teeth using micro-CT. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 1:107-11.
- Sauer, N. (1998) The timing of injuries and manner of death: distinguishing among antemortem, perimortem and postmortem trauma. *In: Reichs K. (ed) Forensic osteology*. Springfield, Charles C. Thomas: 321-332.
- Sauerwein, K.A. (2011) *The sequence of bone staining and it's applications to the post mortem interval*. Dissertação de Mestrado na Universidade de Texas State, San Marcos.
- Schmidt, C. W. & Symes, S.A. (2008) *The Analysis of Burned Human Remains*. Academic Press, San Diego.
- Scott, A.; Congram, D.; Sweet, D.; Fonseca, S. & Skinner, M. (2010) Anthropological and radiographic comparison of antemortem surgical records for identification of skeletal remains. *Journal of Forensic Sciences* 55(1): 241-44.
- Simpson, G.G. (1961) Some Problems of Vertebrate Paleontology. *Science*, 133: 1679-1689.
- Shipman, P., G. Foster & M. Schoeninger (1984) Burnt bones and teeth: an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of Archaeological Science* 2:307-325
- Shirley, N.R.; Wilson, R. J. & Jantz, L.M. (2011) Cadaver Use at the University of Tennessee's Anthropological Research Facility. *Clinical Anatomy*, 24: 372-380.
- Smith, O.C.; Pope, E.J. & Symes, S. (2003) Look until you see: identification of trauma in skeletal material. *In: Steadman, D. W. (ed) Hard evidence: case studies in forensic anthropology*. New Jersey, Prentice Hall: 138-154.

- Sorg, M.H. (1986) Scavenger modification of human remains. Proceedings of the *Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences*.
- Sorg, M.H. & Haglund, W.D. (2002) Advancing forensic taphonomy: purpose theory and practice. In: W.D. Haglund and M.H. Sorg (eds) *Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory and Archaeological Perspectives* (pp. 3-29) CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sorg, M.H.; Haglund, W.D. & Wren, J.A. (2012) Current Research in Forensic Taphonomy. In: Dirkmaat, D.C. (ed) *A Companion to Forensic Anthropology*. Chichester, Blackwell Publishing Ltd: 477-498.
- Steyn, M. & Íscan, M. Y. (2000) Bone pathology and antemortem trauma, In: J. A. Siegel, P. J. Saukko & G. C. Knufer (eds) *Encyclopedia of Forensic Sciences*, pp. 217-227. San Diego: Academic Press.
- Symes, S.A.; Smith, O.C.; Berryman, H.E.; Peters, C.E.; Rockhold, L.A.; Haun, S.J.; Francisco, J.T. & Sutton, T.P. (1996) Bones: bullets, burns, bludgeous, blunderers and why. Workshop conducted at the 48<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences, Nashville, TN.
- Symes, S.; L'Abbe, E.; Chapman, E.; Wolf, I. & Dirkmaat, D. (2012) Interpreting traumatic injury to bone in medicolegal investigations. In: Dirkmaat, D.C. (ed) *A Companion to Forensic Anthropology*. Willey-Blackwell, New York, pp. 340-389.
- SWGANTH, Scientific Working Group for Forensic Anthropology (2013) *Taphonomic Observations in the Postmortem Interval*.
- Thompson, T.J.U. (2002) The assessment of sex in cremated individuals: Some cautionary notes. *Canadian Society of Forensic Journal* 35(2): 49-56.
- Thompson, T.J.U. (2004) Recent advances in the study of burned bone and their implications for forensic anthropology. *Forensic Science International* 146S: S203-05.
- Thompson, T.J.U. (2005) Heat-induced dimensional changes in bone and their consequences for forensic anthropology. *Journal of Forensic Sciences* 50(5): 1008-15.
- Thompson, T.J.U. & Chudek, J.A. (2007) A novel approach to the visualization of heat-induced structural change in bone. *Science and Justice* 47: 99-104.

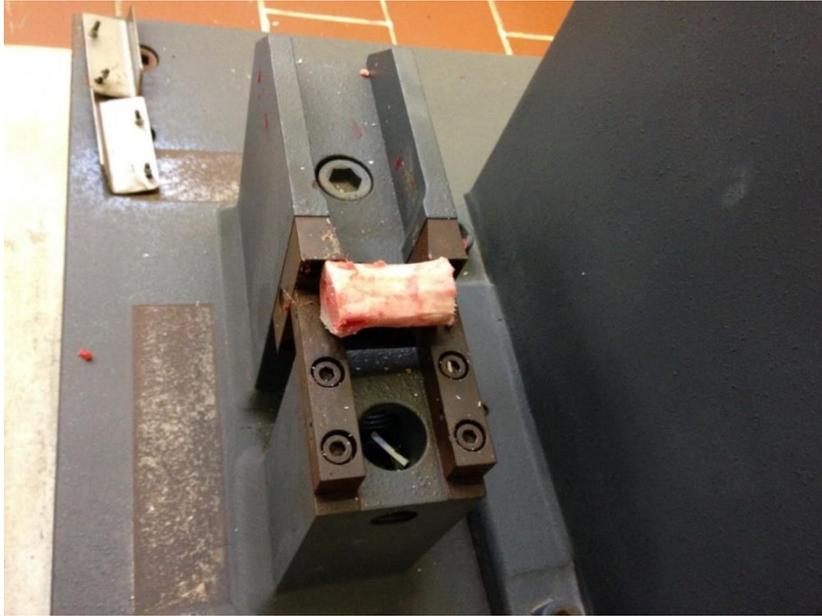
- Thompson, T.J.U & Ulguim, P.F. (2009) Burned Human Remains. In: Blau, S. & Ubelaker, D. (eds) *Handbook of forensic anthropology and archaeology: digging deeper: current trends and future directions in forensic anthropology and archaeology*. (WAC) Research Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology.
- Tibbett, M. & Carter, D.O. (eds) (2008) *Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Tumer, A.R.; Karacaoglu, E.; Namli, A.; Keten, A.; Farasat, S.; Akcan, R.; Sert, O. & Odabasi, A.B. (2013). Effects of different types of soil on decomposition: An experimental study. *Legal Medicine*, 15: 149-156.
- Ubelaker, D. (1991) Perimortem and postmortem modification of human bone: lessons from forensic anthropology. *Anthropologie*, 29(3): 171-174.
- Ubelaker, D.H. & Adams, B.J. (1995) Differentiation of perimortem and postmortem trauma using taphonomic indicators. *Journal of Forensic Sciences*, 40(3): 509-512.
- Ubelaker, D.H. & Zarenko, K.M. (2011) Adipocere: what is known after two centuries of research. *Forensic Science International*, 208:167-172.
- Ulguim, P.F. (2015) Analysing cremated human remains from the southern Brazilian highlands: Interpreting archaeological evidence of funerary practice at mound and enclosure complexes in the Pelotas River Valley. In: T.J.U. Thompson (ed) *The Archaeology of Cremation: Burned Human Remains in Funerary Studies*. Oxford: Oxbow Books.
- Vass, A.A. (2011) The elusive universal post-mortem interval formula. *Forensic Science International*, 204: 34-40.
- Vassalo, A. R., Mamede, A. P., Ferreira, M. T., Cunha, E. & Gonçalves, D. (2017) The G-force awakens: the influence of gravity in bone heat-induced warping and its implications for the estimation of the pre-burning condition of human remains.
- Warren, M.W.; Falsetti, A.B.; Hamilton, W.F. & Levine, L.J. (1999) Evidence of arteriosclerosis in cremated remains. *American Journal of Forensic and Legal Pathology* 20: 277-80.

- Waterhouse, K. (2013) Post-burning fragmentation of calcined bone: Implications for remains recovery from fatal fire scenes. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 20: 277-80.
- Wedel, V. L. & Galloway, A. (2014) Broken bones: anthropological analysis of blunt force trauma (2<sup>nd</sup> edn). Charles C. Thomas: Springfield.
- Weitzel, M.A. (2005) A report decomposition rates of a special burial type in Edmonton, Alberta from an experimental field study. *Journal of Forensic Sciences*, 50(3): 641-647.
- Wheeler, M. (1956) *Archaeology from the Earth*. Oxford: Clarendon Press.
- Wilson-Taylor, R.J. (2013) Time since Death Estimation and Bone Weathering: The Postmortem Interval. *In: Tersigni-Tarrant, M.A.; Shirley, N.R. (eds) Forensic Anthropology: An Introduction*. Boca Raton, CRC Press: 339-380.
- White, P. & Folkens, P. (2000) *Human osteology*. New York, Academic Press.

## Apêndices



**Figura 1** – Pêndulo do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra.



**Figura 2** – Peça anatómica serrada.



**Figura 3** – Peça anatómica colocada horizontalmente no Scanner 3D, NextEngine.



**Figura 4** – Peça anatómica colocada horizontalmente para captação de imagem pelo Scanner 3D.



**Figura 5** – Foram coladas ao scanner folhas de papel branco para ofuscar a luz da câmara do flash, que deixava algumas zonas “vazias” e extremamente brancas no modelo 3D.



**Figura 6** – Marcação da peça anatómica com caneta de acetato.



**Figura 7** – Pêndulo do Laboratório de Antropologia Forense da FCTUC.



**Figura 8** – Pesagem dos pesos utilizados no pêndulo do Laboratório.



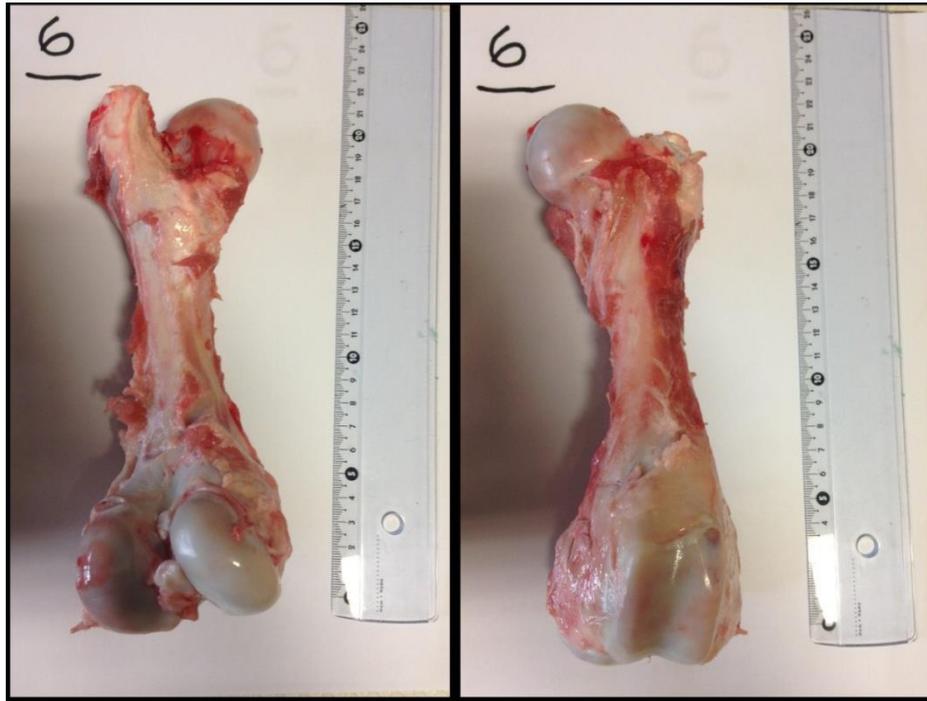
**Figura 9** – OAMM N° 1 Fresco.



**Figura 10** – OAMM N° 4 fresco antes da cozedura.



**Figura 11** – OAMM N°5 fresco antes da cozedura.



**Figura 12** – OAMM N° 6 fresco antes da cozedura.



**Figura 13** – OAMM N° 7 fresco, antes de assar em forno doméstico.



**Figura 14** – OAMM N° 8 fresco antes de assar em forno doméstico.



**Figura 15** – OAMM N° 9 fresco antes de assar em forno doméstico.



**Figura 16** – OAMM N° 10 fresco.



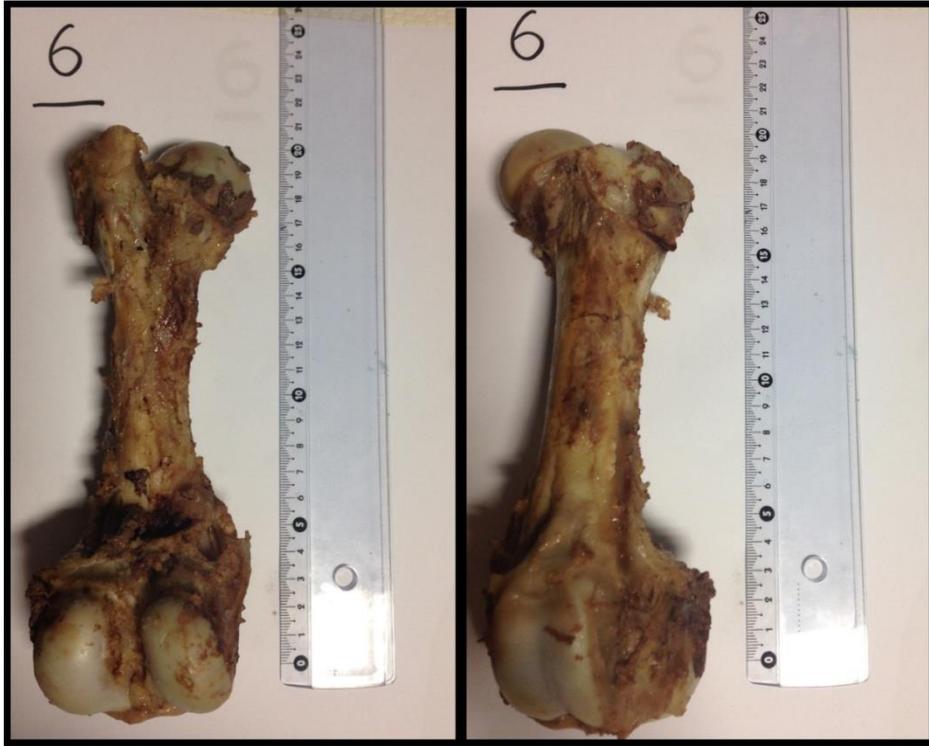
**Figura 17** – OAMM N° 11 fresco.



**Figura 18** – OAMM N° 4 após cozedura.



**Figura 19** – OAMM N° 5 após cozedura.



**Figura 20** – OAMM N° 6 após cozedura.



**Figura 21** – OAMM N° 7 após assar em forno doméstico.



**Figura 22** – OAMM N° 8 após assar em forno doméstico.



**Figura 23** – OAMM N° 9 após assar em forno doméstico.



**Figura 24** – OAMM N° 8 com fractura em borboleta.



**Figura 25** – OAMM N° 12 fresco.



**Figura 26** – OAMM N° 13 fresco.



**Figura 27** – OAMM N° 14 fresco.



**Figura 28** – OAMM N° 15 fresco.



**Figura 29** – Máquina com pêndulo num dos centros de investigação da ADAI.



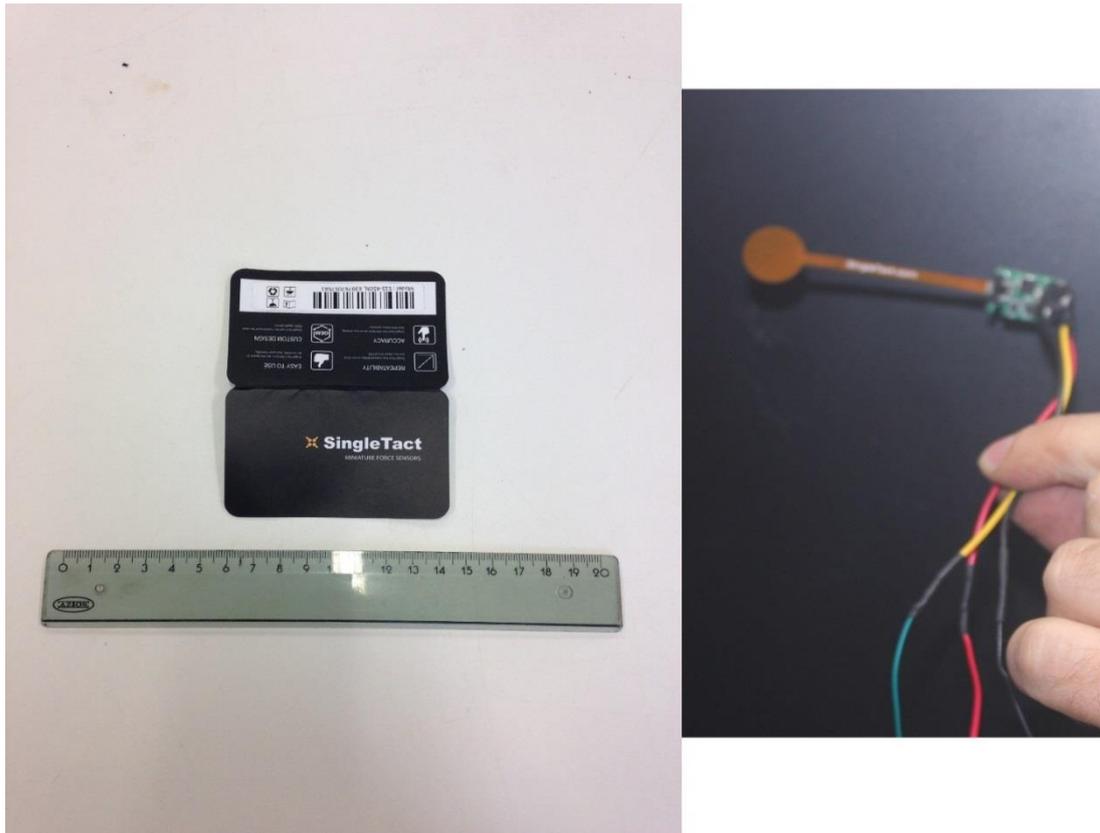
**Figura 30** – OAMM N° 11 após partir.



**Figura 31** – Máquina com pêndulo e introdução de mais 20kg de carga.



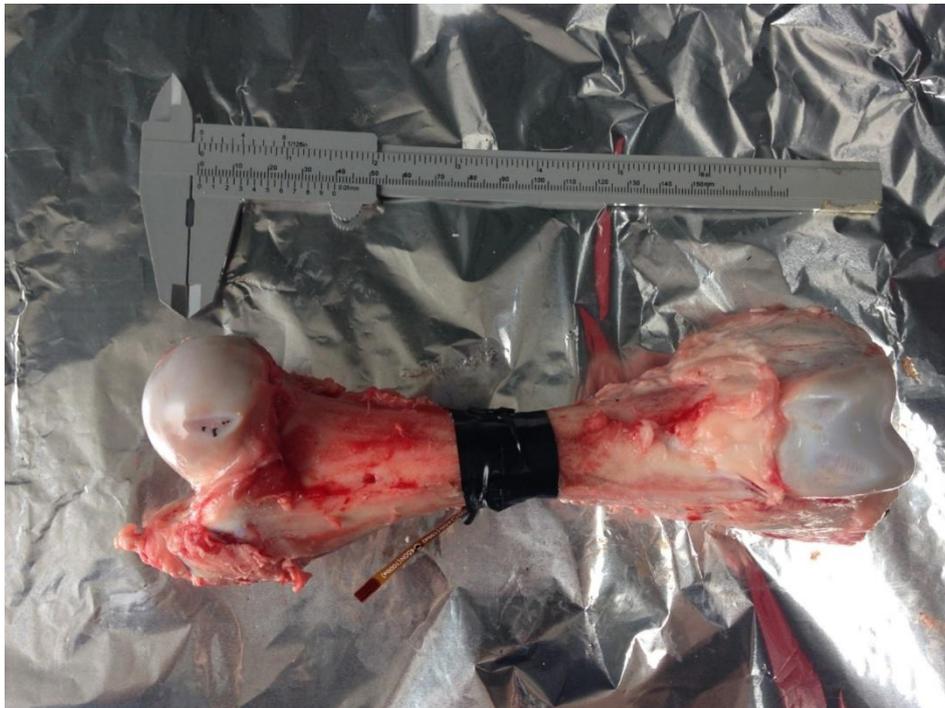
**Figura 32** – OAMM N° 12 depois de partir.



**Figura 33** – Sensor modelo SingleTact.



**Figura 34** – OAMM N° 13 fresco depois de partir.



**Figura 35** – OAMM N° 15 que não partiu, presença de sensor.



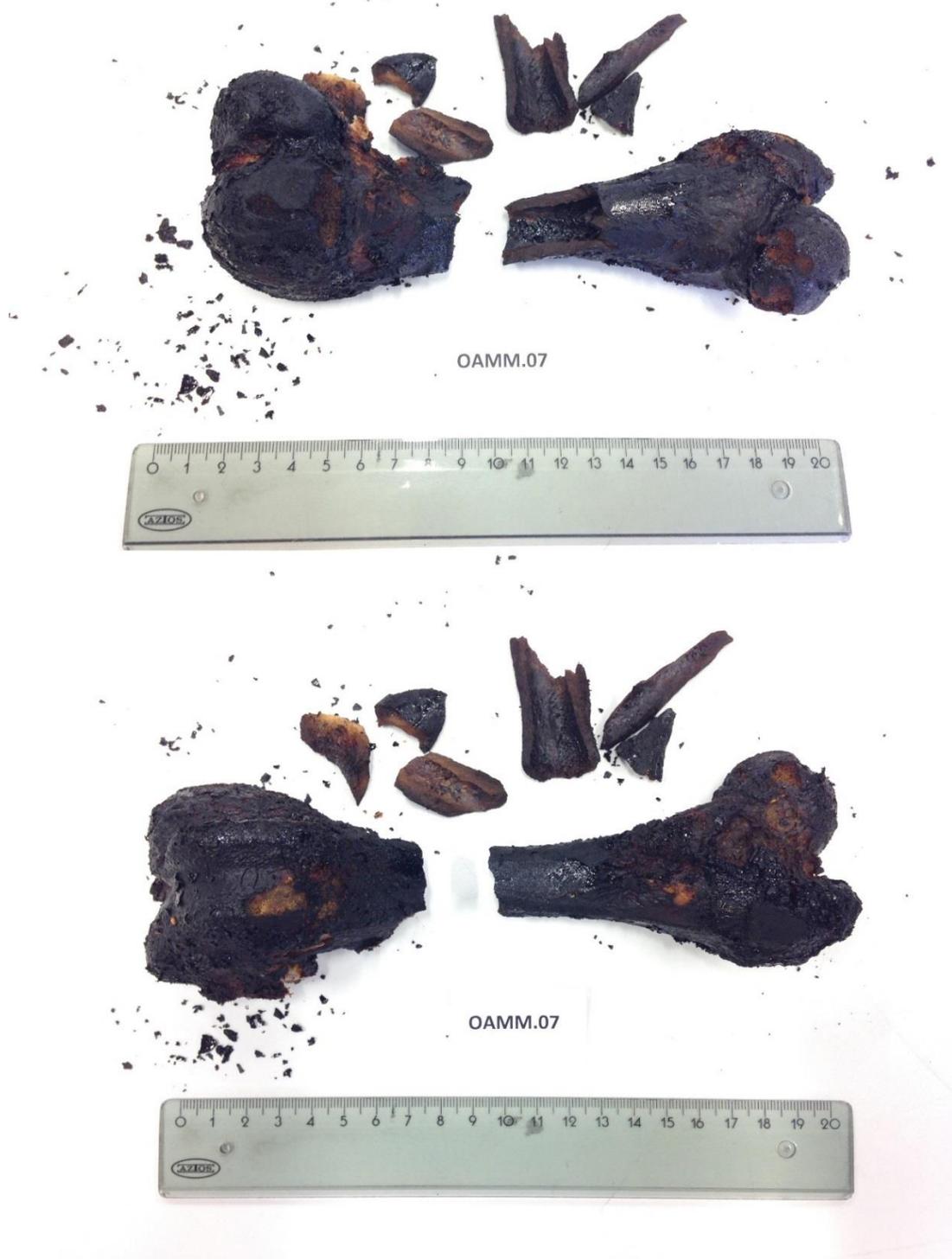
**Figura 36** – OAMM N°6 cozido, depois de partir.



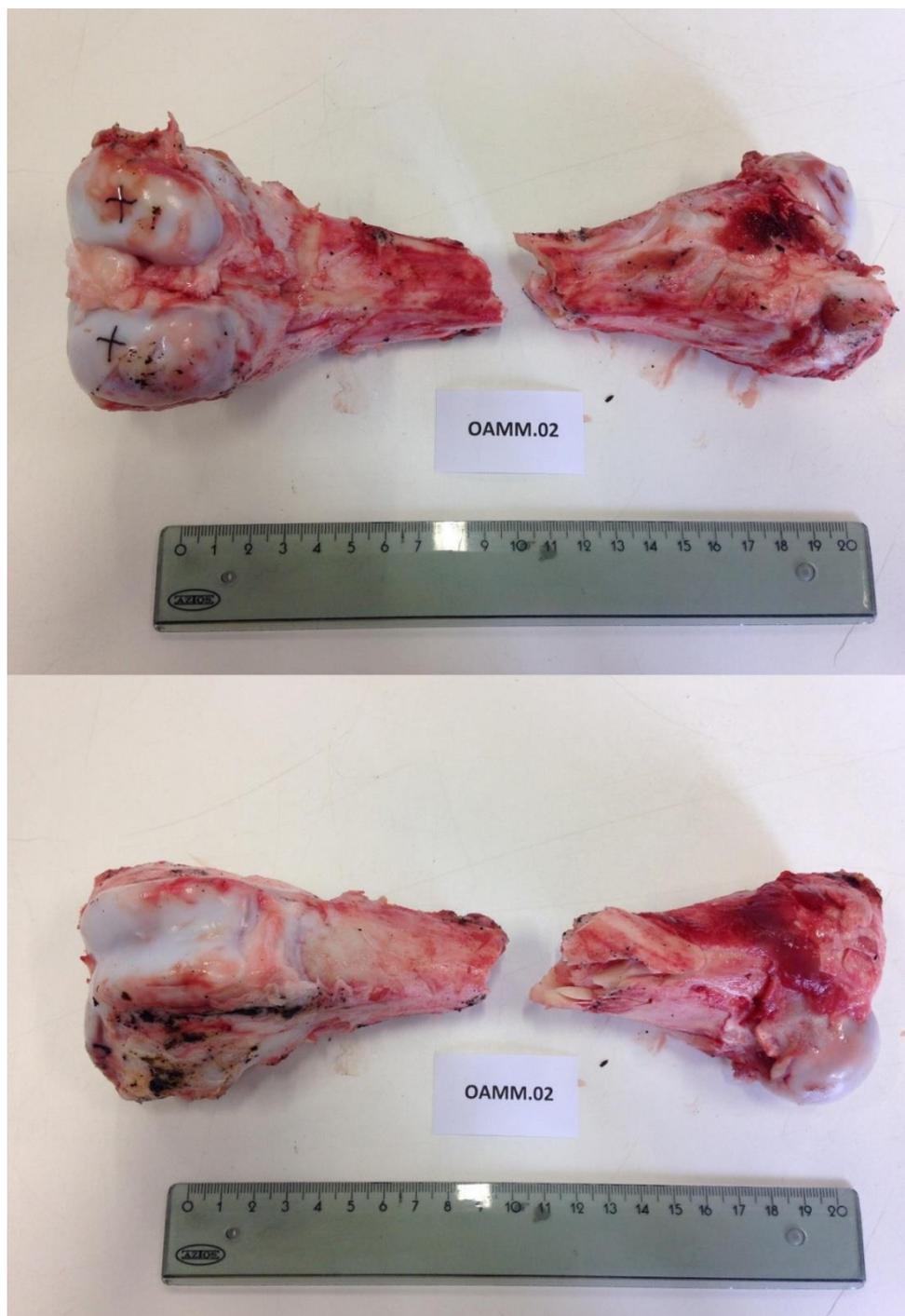
**Figura 37** – OAMM N° 5 cozido, que não partiu, presença de sensor.



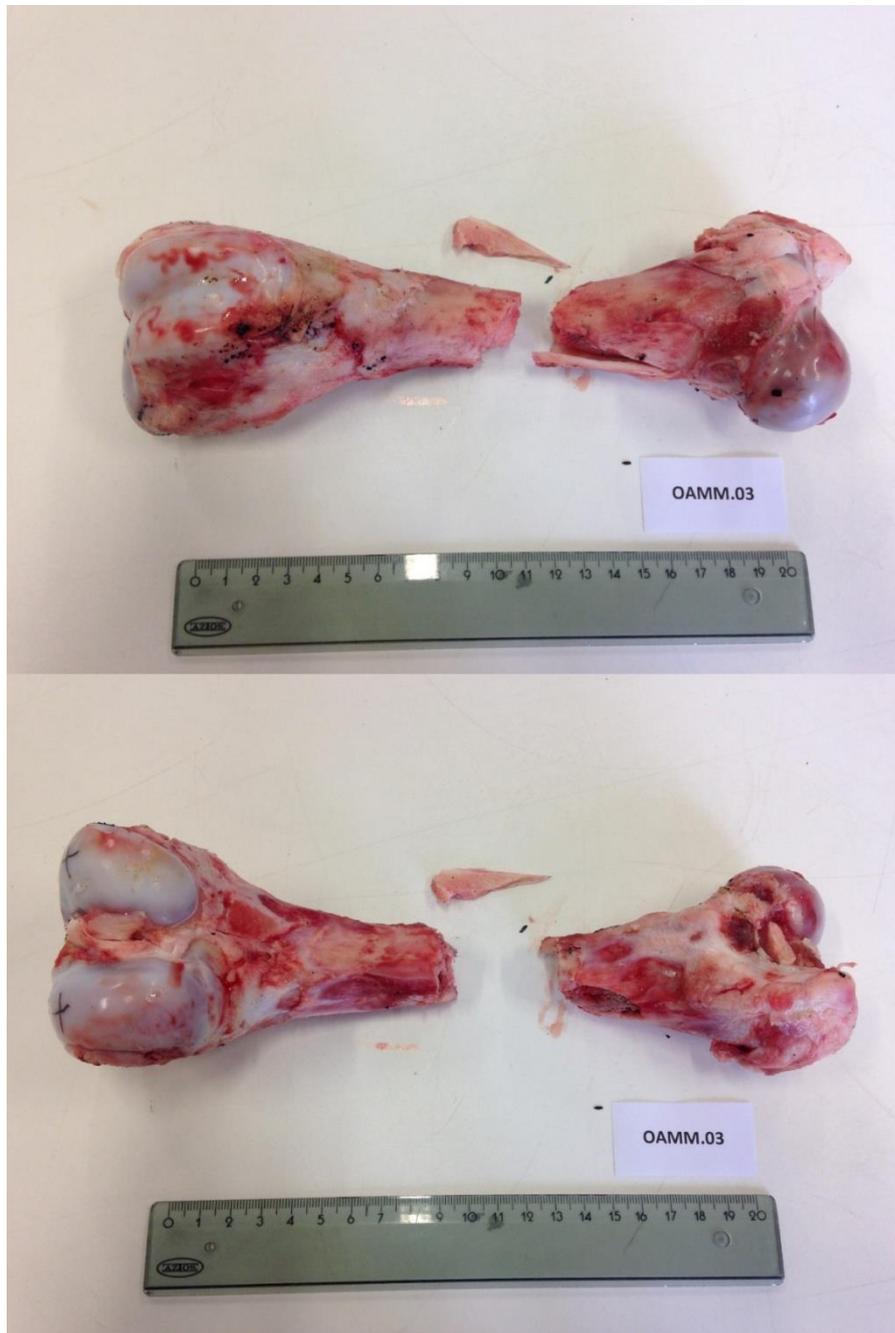
**Figura 38** – OAMM N° 9 assado em forno doméstico que partiu durante a viagem.



**Figura 39** – OAMM N° 7 após partir, com múltiplas esquírolas.



**Figura 40** – OAMM N° 2 depois de partir.



**Figura 41** – OAMM N° 3 depois de partir.



**Figura 42** – Organização das peças anatômicas antes de inserir na mufla.



**Figura 43** – Organização das peças anatômicas dentro da mufla de cerâmica, em duas prateleiras.



**Figura 44** – Peças anatómicas dentro da mufla na prateleira de cerâmica inferior.



**Figura 45** - Peças anatómicas dentro da mufla na prateleira de cerâmica superior.



**Figura 46** – Peças anatómicas após queima a 900°C.



**Figura 47** – OAMM N°1 após queima a 900°C.



**Figura 48** – OAMM N° 2 após queima a 900°C.



**Figura 49** – OAMM N°3 após queima a 900°C.



**Figura 50** – OAMM N° 10 após queima a 900°C.



**Figura 51** – OAMM N° 11 após queima a 900°C.



**Figura 52** – OAMM N° 12 após queima a 900°C.



**Figura 53** – OAMM N° 13 após queima a 900°C.



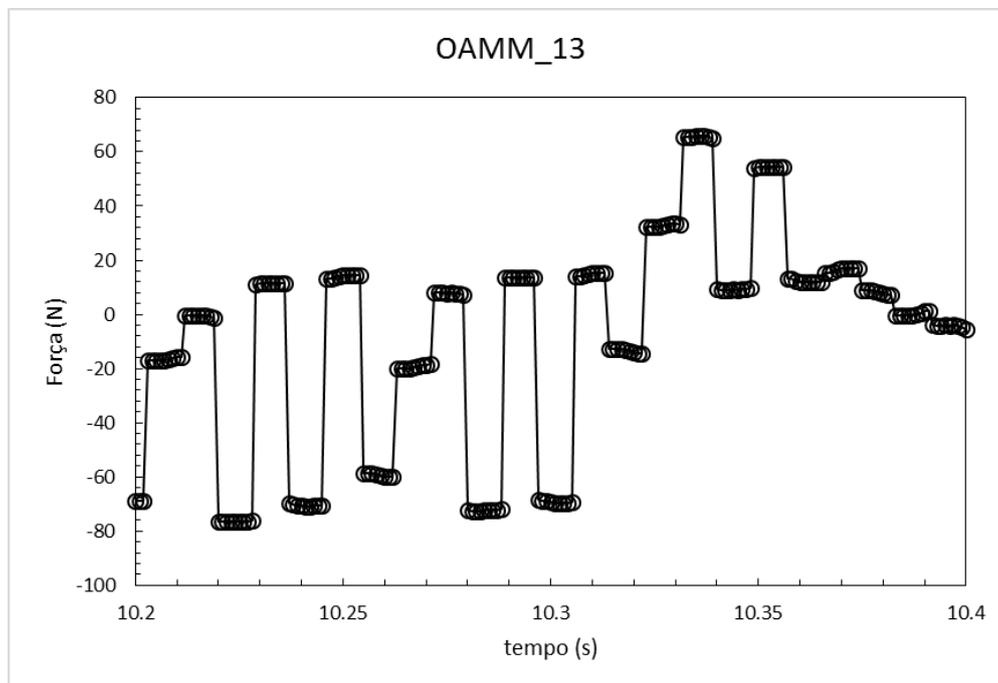
**Figura 54** – OAMM N° 14 após queima a 900°C.



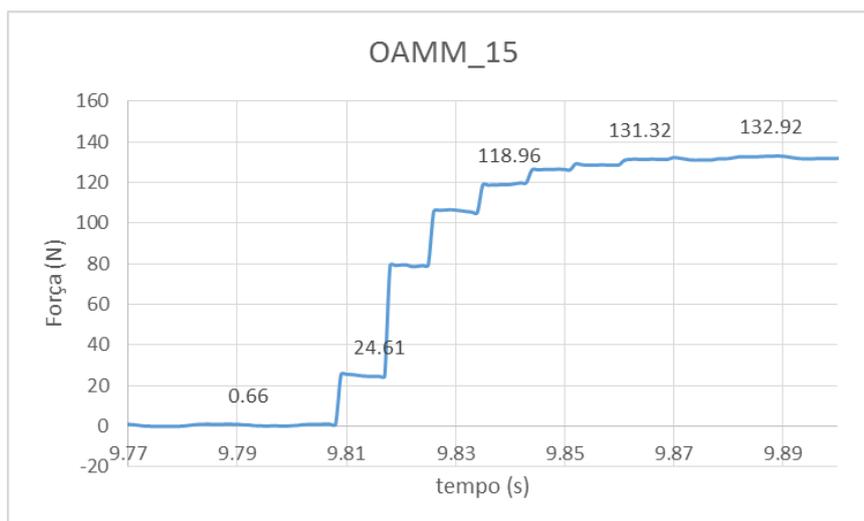
**Figura 55** – OAMM N° 15 após queima a 900°C.



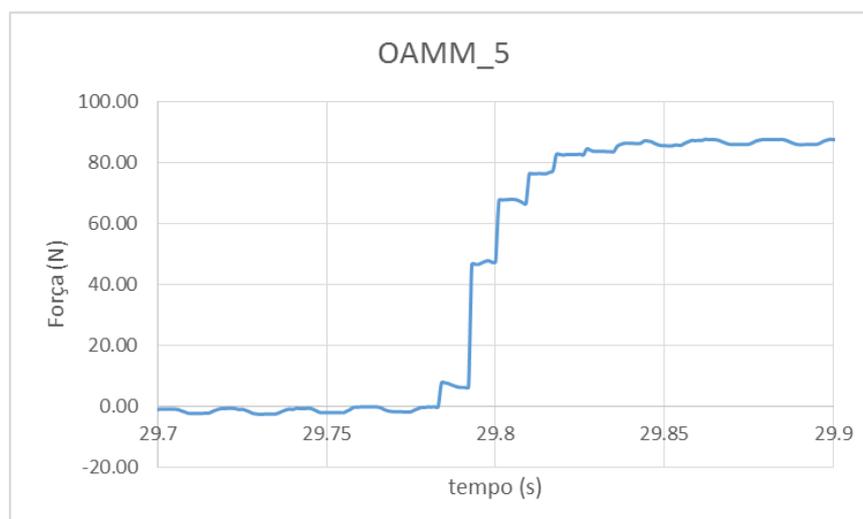
**Figura 56** - Todas as peças anatómicas deixaram na placa de cerâmica da mufla resíduos dos tecidos moles.



**Gráfico 1** – OAMM N° 13, partiu com uma carga adicional de 20kg e uma força de 60N (gráfico obtido através da leitura do sensor acoplado ao osso).



**Gráfico 2** – OAMM N° 15, não partiu com uma carga adicional de 15kg e uma força de 130N (gráfico obtido através da leitura do sensor acoplado ao osso).



**Gráfico 3** – OAMM N° 5 não partiu com uma carga adicional de 20kg e uma força de 90N (gráfico obtido através da leitura do sensor acoplado ao osso).