



## ARTIGO

### **Por meias medidas – a espessura dos tecidos duros em dentes humanos expostos a altas temperaturas e o seu valor para a estimativa da idade**

Inês Oliveira-Santos<sup>a\*</sup>, Márcia Gouveia<sup>b</sup>, Eugénia Cunha<sup>c</sup>, David Gonçalves<sup>a,c,d</sup>

<sup>a</sup>Centro de Investigação em Antropologia e Saúde, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra. Calçada Martim Freitas, 3000-456, Coimbra, Portugal.

<sup>b</sup>Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra, Calçada Martim Freitas, 3000-456, Coimbra, Portugal.

<sup>c</sup>Laboratório de Antropologia Forense, Centro de Ecologia Funcional, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra, Calçada Martim Freitas, 3000-456, Coimbra, Portugal.

<sup>d</sup>Laboratório de Arqueociências, Direção Geral do Património Cultural e LARC/CIBIO/InBIO, Rua da Bica do Marquês 2, 1300-087 Lisboa, Portugal.

\*Corresponding author: [ines.olsantos@gmail.com](mailto:ines.olsantos@gmail.com)

Artigo recebido a 16 de Outubro de 2017 e aceite a 18 de Dezembro de 2017

## RESUMO

Algumas metodologias convencionais para a estimativa da idade à morte são frequentemente pouco aplicáveis a restos esqueléticos sujeitos a alterações térmico induzidas e urge por isso encontrar alternativas viáveis. A dentina e o cimento dentários apresentam boa resistência às altas temperaturas, tendo assim, em teoria, potencial para servirem de base a novas metodologias mais ajustadas a este tipo de restos humanos. O objetivo deste trabalho consistiu em averiguar a existência de uma correlação estatisticamente significativa entre a espessura relativa de cimento

em função da espessura da dentina na zona da raiz e a idade cronológica em dentes submetidos a tratamento térmico a 400°C e a 900°C numa mufla elétrica. Para tal, uma amostra de 20 dentes pertencentes a 9 mulheres e 11 homens portugueses de idade conhecida (33-88 anos), doados através de consultórios dentários após consentimento informado, foram observados microscopicamente de forma a medir as espessuras da dentina e cimento. Não se observaram associações estatisticamente significativas entre a proporção dos tecidos avaliados e a idade conhecida. Este resultado pode advir de dois cenários possíveis: i) nenhuma correlação entre as duas variáveis era pré-existente à queima; ou ii) as alterações térmico-induzidas terão afetado negativamente essa eventual correlação pré-existente. Ainda assim, foi possível observar uma maior espessura relativa de cimento no sexo masculino em comparação com a do sexo feminino. Embora sem utilidade para a estimativa da idade à morte, este trabalho suscita a possibilidade de investigação futura sobre o potencial dos tecidos dentários para a diagnose do sexo em dentes queimados. No entanto, a espessura relativa parece estar dependente da idade e isso pode ser um obstáculo para o desenvolvimento de uma metodologia baseada nesse critério visto que esse parâmetro é muitas vezes desconhecido.

*Palavras-chave: Antropologia Biológica; Antropologia Forense; histologia; alterações térmico-induzidas; perfil biológico.*

\*\*\*

## ABSTRACT

Some of the current methodologies for age at death estimation are less than adequate for burnt human remains which makes it urgent to find workable alternatives. Tooth dentine and cement present good resistance to high temperatures consequently having, in theory, potential to act as target for the creation of new techniques for age at death estimation for these kind of remains. This work aimed to search if a significant statistical relation between cement thickness and dentine thickness at root level and chronological age is present in teeth exposed to heat treatment of 400°C and 900°C in an electric muffle furnace.

For this purpose, a sample of 20 teeth belonging to 9 Portuguese females and 11 Portuguese males of known age (33-88 years old), extracted in dental practices after informed consent, were observed microscopically to measure dentine and cement thickness. No clear tendency was observed for any of the variables evaluated and no significant statistical relations were observed between the tissues analysed and the chronological age. This result can be consequence of two possible scenarios: i) no correlation existed between the two variables before the burning process; or ii) the thermic induced changes may have negatively affected the pre-existing correlation. Nonetheless it was possible to perceive a larger relative thickness of the cement layer on the male sex in comparison with the female sex. Whilst with no use for age at death estimation this work encloses new questions for future research on the field of dental tissues for sex diagnoses in burnt

teeth. However, the thickness of the tissues seems to be related to age, which presents itself as a handicap to a methodology based on these criteria since it is usually an unknown parameter.

*Keywords: Biological Anthropology; Forensic Anthropology; histology; heat-induced changes; biological profile.*

## Introdução

O estudo dos dentes e dos seus tecidos é fundamental para a estimativa da idade à morte em restos esqueletizados, pois várias características dentárias são diagnósticas a este nível, tanto na coroa como na raiz. É o caso do desgaste dentário, da deposição de cimento, da periodontose, da reabsorção da raiz e da deposição de dentina secundária (Gustafson, 1950; Lamendin *et al.*, 1992; Cameriere *et al.*, 2007). É importante salientar que os dentes, compostos por três tecidos duros - esmalte, dentina e cimento - são as partes mais resistentes do esqueleto humano (Stein e Corcoran, 1994; Scott e Turner, 1997), e estão entre as mais resistentes quando este é sujeito à ação do fogo. Todavia, o esmalte origina menos interesse nesta investigação por ser mais suscetível à fragmentação térmico-induzida. Isto acontece porque a sua composição é menos resiliente a aumentos súbitos de temperatura (Beach *et al.*, 2008; Gouveia *et al.*, 2017). Por outro lado, o esmalte não beneficia da proteção fornecida por osso e tecidos moles, ao contrário da raiz, estando por isso normalmente mais exposto a elevadas temperaturas (Shipman *et al.*, 1984; Schmidt, 2008; Fairgrieve, 2008; Gouveia *et al.*, 2016). Posto isto, o estudo da dentina e do cimento revela-se mais promissor em termos de aplicabilidade futura no caso de restos humanos queimados potencialmente

afetados por diversas alterações térmico-induzidas e níveis elevados de fragmentação (Grévin *et al.*, 1998; Thompson, 2004; Gonçalves *et al.*, 2013a, 2013b; Gonçalves *et al.*, 2015). Tudo isto compromete as técnicas de estimativa de idade à morte idealizadas para restos esqueletizados não queimados (Cunha *et al.*, 2009; Ubelaker, 2009) e é por isso importante investigar a sua fiabilidade nestas circunstâncias, exercício a que nos propomos aqui, focando-nos nas espessuras da dentina e cimento dentários ao nível da raiz.

A dentina é maioritariamente composta por cristais de hidroxiapatite e em menor percentagem, colagénio e água (Türp e Alt, 1998; Hillson, 2005). Ao nível da coroa, é rodeada por esmalte e ao nível da raiz, está envolta em cimento (Hillson, 2005). A dentina é importante para a estimativa da idade à morte, uma vez que, em contraste com outros tecidos dentários, o processo odontoblástico permite a sua renovação, apesar de não tão rapidamente como acontece no osso (Hillson, 2005). Este processo forma dentina secundária que se correlaciona com o processo de envelhecimento (Hillson, 1996, 2005; Paewinsky *et al.*, 2005). O cimento é um tecido conjuntivo mineralizado que se acumula em bandas concêntricas, cuja deposição é também correlacionada com a idade cronológica (Solheim, 1990; Schroeder

[et al., 1986](#); [Kvaal e Solheim, 1995](#); [Wittwer-Backofen et al., 2004](#); [Naji et al., 2014](#)). A sua composição química é muito semelhante à do osso e é formada durante qualquer um dos estádios de desenvolvimento do dente, mas ao contrário da dentina, não apresenta remodelação contínua ([Schroeder et al., 1986](#)).

A espessura da camada de cimento varia entre um tamanho máximo no ápex da raiz e um tamanho mínimo na zona da junção cimento/esmalte ([Solheim, 1990](#)). O cimento aumenta cerca de 2 a 3  $\mu\text{m}$  por ano ([Bosshardt e Selvig, 1997](#); [Naji et al., 2014](#)) enquanto o incremento da espessura média anual da camada da dentina na raiz é de cerca de 20  $\mu\text{m}$  (10  $\mu\text{m}$  em cada parede) ([Murray et al., 2002](#)). Em teoria, com o avançar da idade, a dentina tenderá a assumir uma proporção cada vez maior em relação ao cimento dentário.

Estes pressupostos permitem deduzir que o incremento diferencial da dentina e do cimento implica que a proporção destes tecidos tende a alterar-se com o avançar da idade, podendo assim ser útil para estimar a idade à morte, especialmente a partir de dentes queimados. Zilberman e Smith ([2001](#)) e Murray *et al.* ([2002](#)) detetaram uma correlação positiva entre idade e espessura da dentina. Porém, quando sujeitos a temperaturas elevadas, os dentes sofrem alterações nas suas dimensões ([Gouveia et al., 2017](#)) que podem erradicar o potencial da espessura da dentina para a estimativa à morte. Por isso, basear um eventual método de estimativa da idade à morte a partir de dentes queimados meramente nesse parâmetro será previsivelmente pouco eficaz.

No entanto, é possível que essas alterações dimensionais térmico-induzidas não alterem a proporção entre as espessuras da dentina e do cimento e, a confirmar-se esse cenário, esse parâmetro poderia revelar-se mais útil.

Foi então objetivo deste pequeno estudo piloto explorar o potencial da espessura do cimento, calculada em termos de percentagem em função da espessura da dentina na raiz dentária, para estimar a idade cronológica em dentes moderadamente (400°C) e intensamente (900°C) queimados de forma experimental.

### Material e Métodos

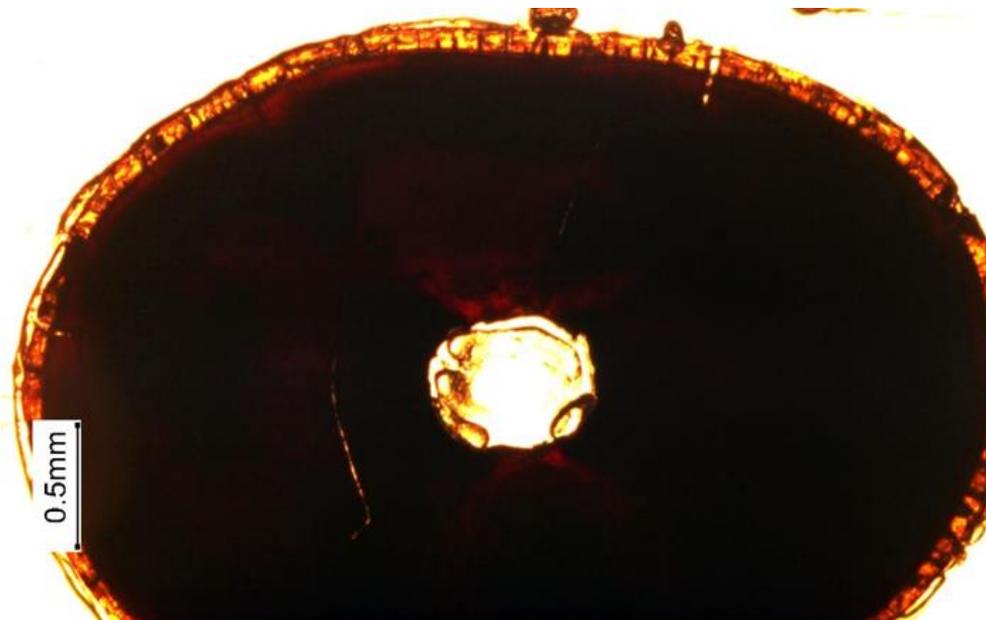
Uma amostra de 20 incisivos permanentes (9 superiores e 11 inferiores) pertencentes a 9 mulheres (média: 62,9 anos, dp: 17,6 anos) e a 11 homens (média: 55,7 anos, dp: 12,9 anos), com idades entre os 33 e os 88 anos, foi doada por pacientes portugueses de clínicas de tratamento dentário após consentimento informado (Ref. 108-CE-1014) para esta investigação.

Os dentes foram divididos em dois grupos e expostos a duas queimas controladas num forno elétrico - um grupo exposto a 400°C por 2 horas composto por 11 dentes de 4 mulheres e 7 homens, com idades entre os 33 e 77 anos (média: 53,7 anos, dp: 15,7 anos). Entretanto, o grupo sujeito à temperatura de 900°C por 3 horas foi composto por 9 dentes pertencentes a 5 mulheres e 4 homens, idades dos 48 aos 88 anos (média: 65,3 anos, dp: 12,6 anos).

Os 30 dentes foram embebidos em resina histológica (*Technovit 7200 VLC – Kulzer*) e

polimerizados por sete horas (*Exakt® 520 Light Polymerization Unit*) de maneira a permitir um mais fácil seccionamento. Foram realizados cortes transversais no terço médio da raiz com uma serra diamantada (*Exakt® Band System 300 CL/CP*). Para cada dente, executaram-se cortes paralelos transversais à raiz, no sentido medio-distal, com uma espessura de 2 mm cada. Um dos cortes foi fixado e polido (*Micro Grinding System*

*Exakt® 400 CS*) – mantendo-se um segundo de reserva dada a fragilidade do material – até se atingir, aproximadamente, uma espessura de 70 µm. As observações foram realizadas através de um microscópio óptico com ampliação de 20x e as micrografias foram obtidas (*Nikon Eclipse E600* com câmara *Nikon DXM 1200C*) utilizando o software *Nikon ACT* (Figuras [1](#) e [2](#)).



**Figura 1 -** Seção de um incisivo central superior permanente pertencente a um homem com 66 anos de idade e queimado experimentalmente a 400°C. Ampliação: 20x, escala 0,5mm.

As espessuras das camadas de dentina e cimento foram obtidas em mm através do *software Image J* (1.48v). As seguintes medidas foram executadas ([Figura 2](#)): 1 – espessura da dentina, desde o canal radicular até à fronteira dentina/cimento; 2 –

espessura do cimento, desde a fronteira dentina/cimento até à fronteira externa do cimento.

Em cada micrografia foi selecionada uma área para visualização otimizada, onde as fronteiras dentina/cimento e fronteira

externa do cimento estavam bem delimitadas. A percentagem de cimento em relação à dentina (%) foi calculada com a seguinte fórmula:  $\% = (C/D)*100$ , onde D se

refere à espessura da dentina e C se refere à espessura do cimento (ambas em mm e mais tarde convertidos em  $\mu\text{m}$ ).

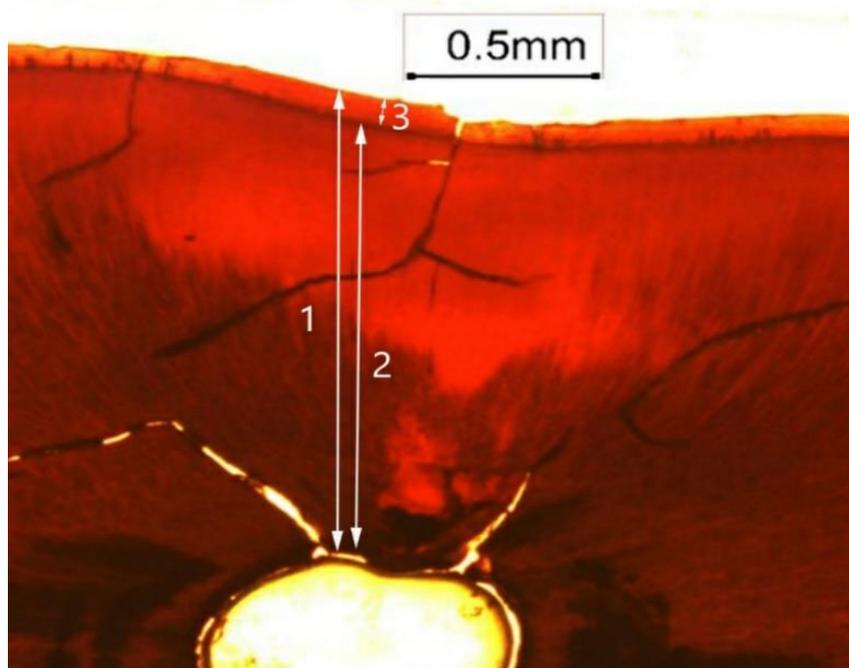


Figura 2 - Secção de um incisivo superior central permanente (1) pertencente a um homem de 61 anos, queimado a 900°C, representando as medidas padrão para (2) espessura da dentina e (3) espessura do cimento. Ampliação: 20x, escala 0,05mm.

## Resultados

As Tabelas [1](#) e [2](#) apresentam os dados e as estatísticas descritivas referentes à amostra utilizada neste estudo, respetivamente. As alterações métricas das espessuras absolutas da dentina e do cimento não apresentaram uma tendência linear e unidirecional. A mesma observação foi feita ao nível da espessura relativa do cimento em função da dentina, tal como é possível constatar a partir dos gráficos apresentados na [Figura 3](#). No

caso dos dentes queimados a 400°C, embora as mulheres mais idosas tendam a apresentar dentes com espessuras de cimento e dentina maiores do que as mulheres mais jovens, o mesmo não foi observado na amostra de dentes de homens. Esta aparente aleatoriedade foi ainda mais clara para ambos os sexos no caso dos dentes queimados a 900°C, temperatura que previsivelmente, terá conduzido a alterações dimensionais térmico-induzidas mais drásticas. Em relação à espessura relativa do

cimento, os resultados não foram mais animadores. Nenhuma tendência clara e unidirecional foi observada, não podendo por isso interpretar-se os valores como fazendo parte de uma resposta linear dos tecidos dentários em função da idade. Aliás, a espessura relativa do cimento não apresentou uma correlação estatisticamente significativa com a idade cronológica, tanto na amostra a 400°C ( $r_s$  (11) = -0,224;  $p$  = 0,507) como na amostra a 900°C ( $r_s$  (9) = -0,226;  $p$  = 0,559), combinando os dois sexos.

Atendendo às medianas, observaram-se aparentes diferenças sexuais na espessura

relativa do cimento em função da espessura da dentina, apresentando valores maiores nos dentes queimados da amostra feminina, especialmente a 900°C (média feminina = 10,50; média masculina = 7,55; [Tabela 2](#)). Optámos por não fazer testes estatísticos para avaliar esta possível diferença devido ao reduzido tamanho das amostras. É por essa razão que procedemos aqui empiricamente a esta comparação entre sexos a partir das medianas e não das médias visto que, devido à presença de outliers, estas últimas servem como pobres medidas de centralidade.

**Tabela 1 - Resultados das espessuras absolutas da dentina e do cimento e da espessura relativa do cimento em função da dentina (C/D) ao nível da raiz.**

ID	Sexo	Temperatura Máxima (°C)	Dente**	Idade Cronológica	Espessura Dentina (mm)	Espessura Cimento (mm)	(C/D)*100
N9a	M	400	31	33	1,35	0,08	6,07%
N9b	M	400	32	33	1,05	0,06	5,88%
N40a	F	400	41	40	1,18	0,09	7,43%
N40b	F	400	42	40	1,06	0,07	6,41%
MD133	M	400	41	48	0,97	0,15	14,95%
H20b	F	400	32	59	1,00	0,09	8,74%
M7	M	400	31	61	1,14	0,05	4,13%
MD136b	M	400	42	61	1,22	0,08	6,83%
P2a	M	400	21	66	1,04	0,09	8,39%
V7	M	400	11	73	1,88	0,09	4,56%
M6b	F	400	21	77	2,08	0,10	4,90%
E20a	F	900	41	48	0,90	0,09	10,50%
H41	M	900	11	55	1,61	0,10	6,00%
MD117a	M	900	12	57	1,14	0,10	8,95%
AC18b	F	900	22	61	1,28	0,09	6,78%
H29a	M	900	21	61	1,30	0,08	6,23%
MD145	M	900	12	65	1,27	0,13	10,36%
AE23	F	900	21	76	1,29	0,19	14,30%
AC25c	F	900	42	77	1,10	0,05	4,26%
N16a	F	900	31	88	0,59	0,22	36,93%

Legenda: ID – identificação de cada dente; M – masculino; F – feminino; medidas em mm. \*\*O sistema de numeração da *Fédération Dentaire Internationale* foi utilizado para identificar os dentes.

**Tabela 2 – Estatística descritiva das espessuras absolutas da dentina e do cimento (mm) e da espessura relativa do cimento em função da espessura da dentina (%) de acordo com a temperatura máxima e sexo.**

Indicador	Temperatura Máxima (°C)	Sexo	n	Média	dp	Mediana	Amplitude	Mínimo	Máximo
Dentina (mm)	400	F	4	1,33	0,51	1,12	1,08	1,00	2,08
	900	F	5	1,03	0,30	1,10	0,70	0,59	1,29
	400	M	7	1,24	0,31	1,14	0,91	0,97	1,88
	900	M	4	1,33	0,20	1,29	0,47	1,14	1,68
	400	F + M	11	1,27	0,37	1,14	1,11	0,97	2,08
	900	F + M	9	1,17	0,29	1,27	1,02	0,59	1,61
Cimento (mm)	400	F	4	0,09	0,01	0,09	0,03	0,07	0,10
	900	F	5	0,13	0,07	0,09	0,17	0,05	0,22
	400	M	7	0,09	0,03	0,08	0,10	0,05	0,15
	900	M	4	0,10	0,02	0,10	0,05	0,08	0,13
	400	F + M	11	0,09	0,03	0,09	0,10	0,05	0,15
	900	F + M	9	0,12	0,05	0,10	0,17	0,05	0,22
Cimento (%)	400	F	4	6,85	1,61	6,90	3,80	4,90	8,70
	900	F	4	14,56	13,05	10,50	32,60	4,30	36,90
	400	M	7	7,25	3,66	6,10	10,80	4,10	14,90
	900	M	5	7,88	2,14	7,55	4,40	6,00	10,40
	400	F + M	11	7,10	2,98	6,40	10,80	4,10	14,90
	900	F + M	9	11,59	9,96	8,90	32,60	4,30	36,90

Legenda: M – masculino; F – feminino; n – número de dentes; dp – desvio padrão.

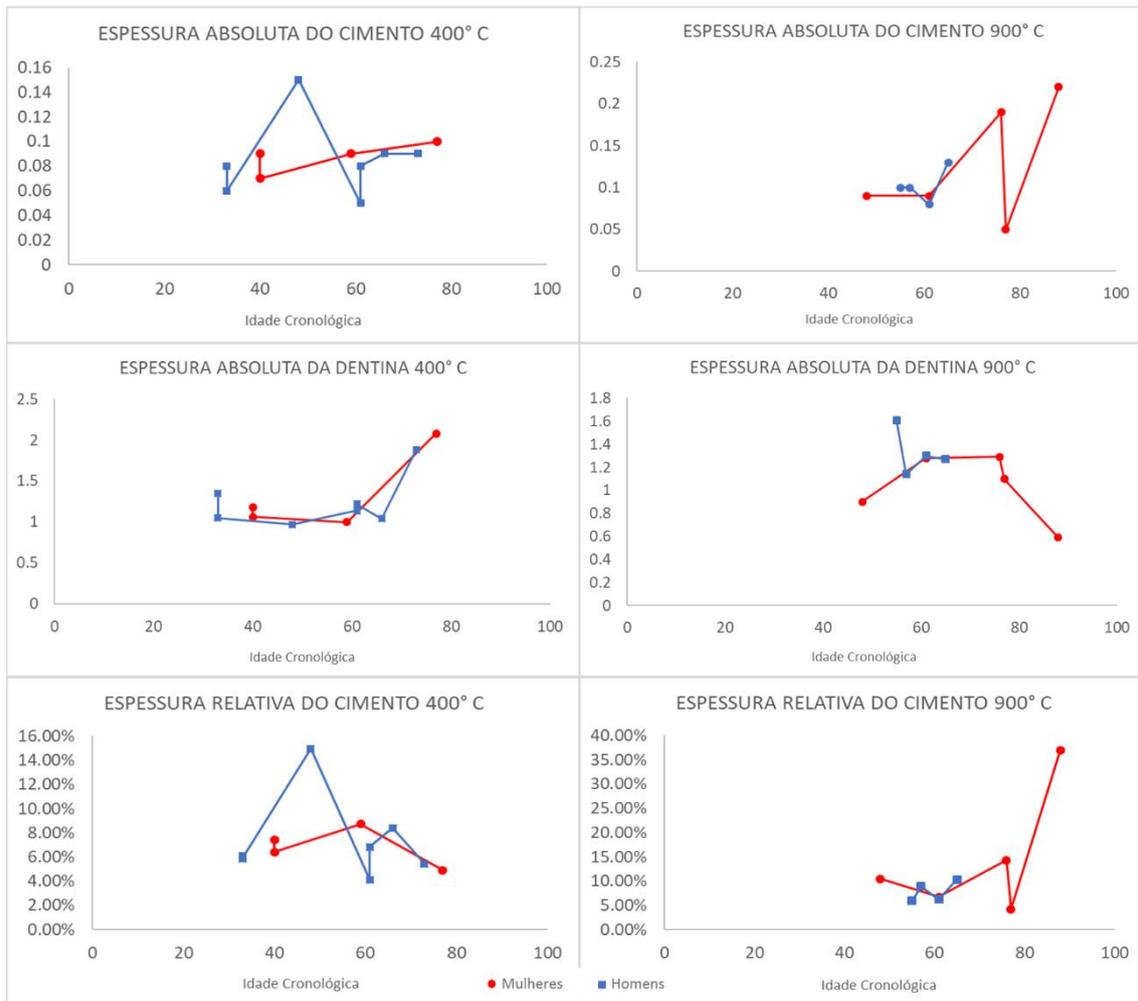
## Discussão

Neste estudo-piloto, a espessura dos tecidos duros dentários, cimento e dentina, foi avaliada em incisivos com alterações térmico-induzidas e a sua potencial correlação com a idade cronológica foi investigada, tendo sempre em mente que estes tecidos sofrem alterações estruturais ao longo da vida do indivíduo ([Nitzan et al., 1986](#)). Nas subamostras sujeitas a 400°C e 900°C, a espessura relativa do cimento em função da dentina não apresentou uma correlação significativa com a idade cronológica. Isto não vai ao encontro das conclusões obtidas noutras investigações que se debruçaram na análise da espessura absoluta da dentina em

dentes não queimados ([Zilberman e Smith, 2001](#); [Murray et al., 2002](#)). O potencial da espessura relativa do cimento para a estimativa da idade em dentes não queimados não foi investigado na nossa amostra por nos ser tecnicamente impossível medir as espessuras da dentina e do cimento antes e após a queima. Por isso, não podemos afirmar se uma correlação estatisticamente significativa estava ou não presente antes da queima. Caso estivesse presente à partida, o tratamento térmico terá então levado à perda dessa relação na nossa amostra de dentes queimados explicando assim os resultados obtidos. São

conhecidas as alterações dimensionais sofridas pelos dentes após exposição a altas temperaturas que se manifestam tanto em termos de expansão como de encolhimento (Gouveia, 2015; Oliveira-Santos *et al.*, 2017; Gouveia *et al.*, 2017). Como a dentina e o

cimento apresentam composições orgânicas e inorgânicas diferentes, é admissível que a exposição térmica tenha afetado as suas dimensões de forma diferenciada, mas a nossa investigação não foi desenhada para responder a essa questão específica.



**Figura 3 – Resultados para as espessuras absolutas da dentina e do cimento e para a espessura relativa do cimento em função da dentina. Os resultados são apresentados por sexo (mulheres: círculos vermelhos; homens: quadrados azuis) de acordo com a temperatura máxima (400° C/900° C).**

As eventuais disparidades sexuais observadas nos valores das espessuras relativas de dentina vão de encontro ao que

é descrito na literatura. Devido ao processo odontoblástico sexualmente diferenciado, a espessura relativa da dentina é

reportadamente maior em homens ([Zilberman e Smith, 2001](#); [Murray et al., 2002](#)). Isso parece ser confirmado pelos nossos resultados. Porém, admitindo que a idade tem de facto um efeito na espessura da dentina, conclusões fiáveis acerca desta questão poderão apenas ser obtidas a partir de uma amostra composta por incisivos, ou outros tipos de dentes, pertencentes a homens e mulheres de idade semelhante. Esse não foi o caso da nossa amostra.

Seja como for, e a confirmar-se o impacto da idade na espessura relativa do cimento em função da espessura da dentina, a fiabilidade de um futuro modelo para a estimativa do sexo que venha a ser desenvolvido dependerá da idade aproximada ser conhecida ou não. Previsivelmente, isso limitará a sua aplicabilidade visto que a estimativa da idade à morte em indivíduos adultos possui ela própria fiabilidade reduzida.

É provável que as medidas aqui obtidas estejam fortemente afetadas pelas alterações térmico-induzidas e que isso explique os pouco promissores resultados. A presença de algumas patologias nos dentes pode porventura ter também afetado a recolha de dados. Os incisivos que compõem a nossa amostra foram extraídos em consultórios de dentista por diversos motivos. Apesar de esse cenário ser pouco provável para a maioria dos dentes analisados, é possível que algumas das

patologias reportadas para alguns deles tenham alterado drasticamente a configuração normal dentina/cimento, influenciando assim a sua avaliação métrica ([Kato et al., 1992](#); [Murray et al., 2002](#)).

Na amostra que reunimos, um dos valores era um outlier muito extremado ([Figura 4](#)), pertencendo ao incisivo da mulher mais idosa (88 anos), cuja espessura relativa do cimento representava 36,9% da espessura da dentina. Como termo de comparação, a espessura relativa média do cimento nos outros indivíduos foi de 7,7% (máximo = 14,9%; mínimo = 4,1%). Esta constatação poderá sugerir que aquele indivíduo era portador de uma patologia ou que as espessuras da dentina e do cimento possam assumir configurações anómalas em indivíduos de idade muito avançada. Além do efeito de uma eventual patologia, uma vez que segundo Arola e Reprogl ([2005](#)) indivíduos mais velhos (acima dos 65 anos) têm maior suscetibilidade à patologia dentária (cáries, fraturas, por exemplo) tem também uma possível relação com uma natural redução da atividade odontoblástica com o avançar da idade, já que os odontoblastos sofrem mudanças degenerativas, podendo atrofiar e desaparecer ([Morse, 1991](#)). O esclarecimento destas dúvidas terá forçosamente que passar por investigação numa amostra maior.

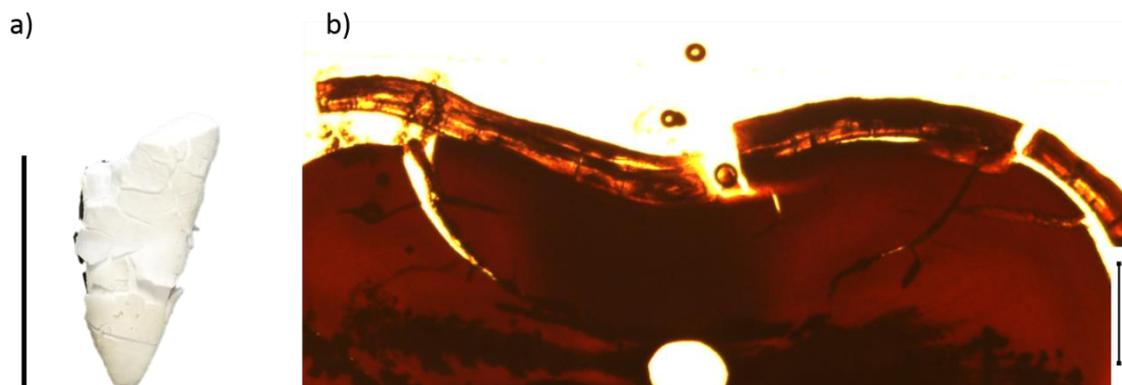


Figura 4 - (a) Incisivo central esquerdo (escala 1cm) após tratamento térmico a 900°C com a respetiva secção histológica (b) (ampliação: 20x, escala 0,5mm) do corte transversal da raiz, pertencente a um indivíduo feminino de 88 anos.

## Conclusão

A recuperação e estudo de restos humanos queimados é frequente tanto em contextos recentes como em contextos arqueológicos, o que torna relevante a investigação de metodologias que possam ser aplicadas nestes cenários (Silva, 2007; Gouveia *et al.*, 2016). Os resultados deste estudo-piloto indicam um potencial reduzido para a estimativa da idade baseada na espessura relativa do cimento em função da dentina em dentes sujeitos a temperaturas elevadas. Em contrapartida, os resultados não descartam a hipótese de esta técnica ter alguma utilidade para a diagnose sexual. A reduzida dimensão da nossa amostra não permitiu uma avaliação mais sólida deste potencial e por isso a sua apreciação numa amostra de maiores dimensões constitui uma oportunidade de investigação futura. Outro caminho a seguir no futuro consiste em

realizar as medições noutras áreas da raiz combinando para isso diferentes medidas ao longo de cortes longitudinais, preferencialmente em dentes hígidos e selecionando outros tipos de dentes.

Mesmo falhando em encontrar uma relação entre a idade cronológica e a espessura relativa do cimento em função da espessura da dentina em ambas as temperaturas, este estudo piloto salienta a pertinente necessidade de mais pesquisa na temática de dentes submetidos a tratamento térmico. Assim, esta investigação surge como um contributo para um melhor entendimento sobre a forma como os tecidos dentários expostos a temperaturas elevadas podem reagir face a tais contextos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os doadores e dentistas que colaboraram nesta pesquisa. Agradecemos ainda aos Departamentos de Ciências da Vida e de Gestão de Saúde e Segurança da Universidade de Coimbra, assim como ao Laboratório de Tecidos Duros da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Os nossos agradecimentos estendem-se também aos revisores pelos valiosos comentários resultantes da revisão feita ao primeiro manuscrito. Este trabalho contou com o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BPD/84268/2012; PTDC/IVC-ANT/1201/2014; POCI-01-0145-FEDER-016766, & UID/ANT/00283/2013).

## Bibliografia

- Arola, D.; Repogel, R. K. 2005. Effects of aging on the mechanical behavior of human dentin. *Biomaterials*, 26(18): 4051-4061.
- Beach, J. J.; Passalacqua, N. V.; Chapman, E. N. 2008. Heat-related changes in tooth color: temperature versus duration of exposure. In: Schmidt, C. W.; Symes, S. A. (eds.). *The analysis of burned human remains*. London, Academic Press: 137-144.
- Bosshardt, D. D.; Selvig, K. A. 1997. Dental cementum: the dynamic tissue covering of the root. *Periodontology* 2000, 13(1): 41-75.
- Cameriere, R.; Ferrante, L.; Belcastro, M. G.; Bonfiglioli, B.; Rastelli, E.; Cingolani, M. 2007. Age Estimation by Pulp/Tooth Ratio in Canines by Peri-Apical X-Rays. *Journal of Forensic Sciences*, 52(1): 166-170.
- Cunha, E.; Baccino, E.; Martrille, L.; Ramsthaler, F.; Prieto, J.; Schuliar, Y., Lynnerup N.; Cattaneo, C. 2009. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Science International*, 193(1): 1-13.
- Fairgrieve, S. 2008. *Forensic Cremation: Recovery and Analysis*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Gonçalves, D.; Thompson, T. J. U.; Cunha, E. 2013a. Osteometric sex determination of burned human skeletal remains. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 20(7): 906-911.
- Gonçalves, D.; Cunha, E.; Thompson, T. J. 2013b. Weight references for burned human skeletal remains from Portuguese samples. *Journal of Forensic Sciences*, 58(5): 1134-1140.
- Gonçalves, D.; Thompson, T. J.; Cunha, E. 2015. Sexual dimorphism of the lateral angle of the internal auditory canal and its potential for sex estimation of burned human skeletal remains. *International Journal of Legal Medicine*, 1-4.
- Gouveia, M. 2015. *Avaliação do potencial da odontometria para a diagnose sexual em vestígios humanos queimados*. Dissertação de Mestrado em Evolução e Biologia Humanas, Departamento de Antropologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Gouveia, M.; Oliveira-Santos, I.; Santos, A. L.; Gonçalves, D. 2016. Tons de fogo: estudo experimental sobre alterações térmico-induzidas em dentes humanos soltos. *Cadernos do GEEvH* 5(1): 29-42.
- Gouveia, M.; Oliveira-Santos, I.; Santos, A.L.; Gonçalves, D. 2017. Sample-specific odontometric sex estimation: A method with potential application to burned remains. *Science and Justice*, 57(4): 262-269.
- Grévin, G.; Bailet, P.; Quatrehomme, G.; Ollier, A. 1998. Anatomical reconstruction of fragments of burned human bones: a necessary means for forensic identification. *Forensic Science International*, 96(2): 129-134.
- Gustafson, G. 1950. Age determination on teeth. *Journal of the American Dental Association*, 41(1): 45-54.
- Hillson, S. 1996. *Dental anthropology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Hillson, S. 2005. *Teeth*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Kato, S.; Nakagaki, H.; Kunisaki, H.; Sugihara, N.; Noguchi, T.; Ito, F.; Yosmoka, I.; Weatherell J.A.; Robinson, C. 1992. The thickness of the sound and periodontally diseased human cementum. *Archives of Oral Biology*, 37(8): 675-676.
- Kvaal, S. I.; Solheim, T. 1995. Incremental lines in human dental cementum in relation to age. *European Journal of Oral Sciences*, 103(4): 225-230.
- Lamendin, H.; Baccino, E.; Humbert, J. F.; Tavernier, J. C.; Nossintchouk, R. M.; Zerilli, A. 1992. A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method. *Journal of Forensic Sciences*, 37(5): 1373-1379.
- Morse, D. R. 1991. Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 72(6), 721-745.

- Murray, P. E.; Stanley, H. R.; Matthews, J. B.; Sloan, A. J.; Smith, A. J. 2002. Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 93(4): 474-482.
- Naji, S.; Colard, T.; Blondiaux, J.; Bertrand, B.; d’Incau, E.; Bocquet-Appel, J. P. 2014. Cementochronology, to cut or not to cut? *International Journal of Paleopathology*, 15: 113-119.
- Nitzan, D. W.; Michaeli, Y.; Weinreb, M.; Azaz, B. 1986. The effect of aging on tooth morphology: a study on impacted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 61(1): 54-60.
- Oliveira-Santos, I.; Gouveia, M.; Cunha, E.; Gonçalves, D. 2017. The circles of life: age at death estimation in burnt teeth through tooth cementum annulations. *International Journal of Legal Medicine*, 131(2): 527-536.
- Paewinsky, E.; Pfeiffer, H.; Brinkmann, B. 2005. Quantification of secondary dentine formation from orthopantomograms—a contribution to forensic age estimation methods in adults. *International Journal of Legal Medicine*, 119(1): 27-30.
- Schmidt, C.W. 2008. The recovery and study of burned human teeth. In: Schmidt C, and Symes S, editors. *The Analysis of Burned Human Remains*. London: Academic Press: 55-74.
- Schroeder, H. E.; Amstad-Jossi, M.; Kroni, R., Scherle, W. 1986. The periodontium. In: Schroeder, H. E.; Amstad-Jossi, M.; Kroni, R.; Scherle, W. (eds.) *Handbook of Microscopic Anatomy*. Berlin, Springer-Verlag: V/5.
- Scott, G. R.; Turner, C. G. 1997. *The anthropology of modern human teeth: dental morphology and its variation in recent human populations*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Shipman, P.; Foster, G.; Schoeninger, M. 1984. Burnt bones and teeth: an experimental study of colour, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of Archaeological Science* 11(4): 307-325.
- Silva, F. C. 2007. Abordagem ao ritual funerário da cremação através da análise dos restos ósseos. *Al-Madan*, 11ª Série, 15: 40-48.
- Solheim, T. 1990. Dental cementum apposition as an indicator of age. *European Journal of Oral Sciences*, 98(6): 510-519.
- Stein, T. J.; Corcoran, J. F. 1994. Pararadicular cementum deposition as a criterion for age estimation in human beings. *Oral surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 77(3): 266-270.
- Thompson, T. 2004. Recent advances in the study of burned bone and their implications for forensic anthropology. *Forensic Science International*, 146: S203-S205.
- Türp, J. C.; Alt, K. W. 1998. Anatomy and morphology of human teeth. In Alt, K. W.; R ösing, F. W.; Terchler-Nicola M. (eds) *Dental Anthropology*. Springer Vienna: 71-94.
- Ubelaker, D. H. 2009. The forensic evaluation of burned skeletal remains: a synthesis. *Forensic Science International*, 183(1): 1-5.
- Wittwer-Backofen, U.; Gampe, J.; Vaupel, J. W. 2004. Tooth cementum annulation for age estimation: Results from a large known-age validation study. *American Journal of Physical Anthropology*, 123(2): 119-129.
- Zilberman, U.; Smith, P. 2001. Sex-and age-related differences in primary and secondary dentin formation. *Advances in Dental Research*, 15(1): 42-45.