N.º 09// dezembro 2017 // www.cta.ipt.pt

O Ideário Patrimonial
О идеарио

Heranças Patrimoniais enquanto Partilha de Saberes

PRIMERAS APLICACIONES ARQUEOLÓGICAS Y MUSEÍSTICAS EN GALICIA DE TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA DE RAYOS X

Oscar Lantes-Suárez

Universidade de Santiago de Compostela. RIAIDT. Unidade de Arqueometría. 15782. Santiago de Compostela. España

oscar.lantes@usc.es

Pilar Prieto-Martínez

Universidade de Santiago de Compostela. Grupo de Investigación SINCRISIS. Departamento de Historia. 15782. Santiago de Compostela. España

pilar.prieto@usc.es

Primeras aplicaciones arqueológicas y museísticas en Galicia de tomografía computerizada de rayos X

Oscar Lantes-Suárez

Pilar Prieto-Martínez

Historial do artigo:

Recebido a 08 de setembro de 2017

Revisto a 18 de setembro de 2017

Aceite a 07 de outubro de 2017

RESUMEN

La tomografía computerizada es una técnica que está basada en la transmisión y absorción de rayos x por un objeto y su detección en diferentes posiciones para obtener información tridimensional de la estructura interna. la técnica se ha utilizado ampliamente en el campo de la medicina y más recientemente se ha extendido su uso en un ámbito no clínico, incluyendo piezas de museo y la arqueología. en este trabajo mostramos las primeras experiencias realizadas en galicia en cerámica arqueológica y otros materiales arqueológicos y muesísticos. en cada uno de los ejemplos se resuelven, de un modo no invasivo, diferentes problemáticas asociadas a cada pieza.

Palabras clave: Tomografía Computerizada, Tomografía de haz de Cono, Arqueometría, Cerámica Arqueológica, Museo de Historia Natural

RESUMO

A tomografia computerizada é uma técnica que seja baseada na transmissão e absorção de raios x para um objeto e sua detecção em posições diferentes para obter informações tridimensionais da estrutura interna. a técnica foi utilizada extremamente no domínio da medicina e o mais reciente extendido seu uso em um campo não clínico, incluindo peças de museu e arqueologia. neste trabalho mostramos as primeiras experiências em galiza em cerâmicas arqueológicas e outros materiais arqueológicos e musetisticos. em cada um dos exemplos, problemas diferentes associados a cada pieça são resolvidos, em um modo não invasivo.

Palavras-chave: Tomografía Computorizada, Tomografía de Feixe de Cone, Arqueometria, Cerâmica Arqueológica, Museu de História Natural

ABSTRACT

Computerized tomography is a technique that are based on the transmission and absorption of x-rays for an object and their detection in different positions to obtain three-dimensional

information of the internal structure. the technique has been used extremely in the field of medicine and the most recently extended its use in a non-clinical field, including museum pieces and archeology. in this work we show the first experiences in galicia in archaeological ceramics and other archaeological and samestic materials. in each of the examples, different problems associated with each piece are resolved, in a non-invasive mode.

Key-words: Computed tomography, Cone beam tomography, Arqueometry, archaeological pottery, museum of natural history

1. Introducción

Los rayos X son descubiertos en 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen. Una aplicación temprana que encuentra es impresionarlos sobre una placa fotográfica atravesando un objeto (ANTELO et al., 2008), en esto consiste la radiografía. En función del diferente espesor, densidad y composición de un objeto los rayos X son absorbidos con diferente intensidad y por tanto una placa fotográfica que actúa como detector se va a velar en diferente grado, obteniéndose así, una imagen que es una representación bidimensional de todas las estructuras del objeto superpuestas. El principal uso de esta técnica ha sido clásicamente la medicina y la seguridad aeroportuaria, pero también ha encontrado importantes aplicaciones en el campo de la arqueología, en especial en el análisis de cerámica (BERG, 2008; CARR, 1990; CARR, RIDDICK, 1990; GREENE et al., 2017; RYE, 1977).

A principios del siglo XIX, el radiologista Alessandro Vallebona propuso una variante de la radiografía con el fin de evitar de alguna manera la superposición de estructuras. Este incipiente método (estratigrafía axial) es el origen de la tomografía, técnica que posteriormente desarrolla Godfrey Hounsfield en 1972 (SIMONOV, 2004). En la tomografía, la fuente de rayos X y el detector se desplazan sincrónicamente en direcciones opuestas durante la exposición provocando que las estructuras en el plano focal aparezcan nítidas mientras que las estructuras de los otros planos aparezcan borrosas; por superposición de estas imágenes se puede obtener una representación tridimensional de cada uno de los puntos del objeto. La llegada de los ordenadores posibilitó la aplicación de algoritmos matemáticos de reconstrucción avanzando la técnica de la tomografía convencional a la tomografía computerizada. Ahora se puede obtener una imagen tridimensional que posteriormente puede ser visualizada como cortes o rodajas en los planos axial (arriba-abajo), coronal (delante-detrás) o sagital (izquierda-derecha). La técnica más conocida, en especial en el ámbito médico, es la Tomografía Axial Computerizada (TAC). Otra variante, la Tomografía de Haz de Cono, desarrollada a finales de los años 90, tiene ahora un extendido uso en odontología (CHENINN, 2010; LENGUAS et al., 2010). Históricamente, la Tomografía de rayos X ha tenido un uso predominantemente médico o clínico, al igual que sucedió con la radiografía, sin embargo la gran versatilidad de la técnica y su carácter no destructivo ha hecho que se extienda su uso a otros sectores como el industrial e incluso a otros como la arqueología, la historia y la conservación de bienes culturales. En la **tabla 1.** se recoge una selección bibliográfica de los estudios tomográficos más destacados dentro del campo de las humanidades.

En este trabajo hemos analizado diversos objetos arqueológicos y museísticos en Tomografía de Haz de Cono, técnica muy apropiada para objetos con dimensiones decimétricas. Nuestros objetivos se centran, más que en ofrecer una descripción sistemática de cada pieza, en destacar sus rasgos más significativos y peculiares según su composición y en resaltar los diferentes tipos de información que se pueden extraer con la tomografia – texturas, morfometrías, densitometrías, reconstrucción 3D, etc-étrica, densitométrica, 3D, etc.

Autor	Técnica	Material de estudio	Objetivo
Anderson y Fell (1995)	CT	Vasijas romanas (urnas de cremación arqueológicas)	Ver el contendido
Applabaum y Applabaum (2005)	CT	Cerámica antigua de Oriente próximo	Ver el contendido
Barberini et al. (2009)	CT	Cerámicas altomedievales italianas	Estudiar su homogeneidad y evaluar interverencias con la Termoluminiscencia
Berdondini et al. (2011)	CT	Vaso cerámico lleno de monedas	Comparar los usos médicos con estas aplicaciones
Berg (2008)	CT	Cerámica	Establecer la relación entre procesos de modelado
Bonadies (2007)	CT	Metales de la colección del Museo de Arte de Cincinati	Estudiar su estructura interna
Bonogofsky (2002)	CT	Cráneos enyesados neolíticos del Levante	Análisis estructurales
Bouzakis et al. (2008)	CT	Especulum vaginal de Bronce de la Grecia Helena	Estudiar el diseño y la manufactura
Browne et al. (1998)	CT	Ingeniería	Mostar aplicaciones industriales
Carlson y Pickering (2004)	CT	Huesos de babuinos fosilizados en cuevas	Analizar la densidad mineral
Carretero Díaz et al. (2010)	CT	Elementos paleontológicos de la Sierra de Atapuerca	Conservar y difundir el patrimonio paleontológico
Cassali et al. (2009)	CT	-	Discutir el uso de la tomografía en arqueometría y patrimonio
Cesáreo et al. (2002)	CT	Obras de arte	Análisis general
González-Reimers et al. (2007)	CT	Tibias humanas prehispánicas	Aplicar un software específico para el análisis de densidad ósea
Grieshaber et al. (2008)	CT	ADN de hueso de cerdo	Estudiar el efecto de la radiacción en la amplificación del ADN
Hunter et al. (1993)	CT	Azabache romano británico usado para joyería	Caracterizar su estructura y compararlo con fuentes geológicas
Huppertz et al. (2009)	CT	Escultura y estucos de la reina egipcia Nefertiti	Análisis general
Jacobs et al. (1985)	CT	Materiales de construcción pétreos	Estudiar las aplicaciones y su fundamento
Juanes (2010)	CT	Esculturas y tallas de madera	Mostrar ejemplos de aplicación
Juanes y Juárez (2011)	CT	Esculturas y tallas de madera	Mostrar ejemplos de aplicación
Kyle et al. (2008)	CT	Oro, cobre y otros depósitos minerales de una cantera de Papúa	Cuantificar tamaños de grano, estudiar sus formas.....
Lam et al. (1998)	CT	Restos arqueológicos de fauna en cápridos	Análisis post-deposicional
Lam et al. (2003)	CT	Restos arqueológicos de fauna en cápridos	Análisis post-deposicional
López-Polín et al. (2008)	CT	Restos humanos del pleistoceno en Atapuerca	Estudiar tratamientos de conservación
Mena et al. (2015)	CT	Sedimentos marinos de Galicia	Estudios ambientales
Minozzi et al. (2010)	CT	Cremaciones etruscas conservadas en recipientes de cerámica	Establecer registros en arqueología comercial
Natterer (1985)	CT	-	Avanzar en el procesado algorítmico en la reconstrucción tomográfica
Natterer y Ritman (2002)	CT	-	Revisar históricamente y mostrar su proyección de futuro
O´Connor et al. (2011)	CT	Cráneo británico-romano de Heslington	Estudiar el estado de conservación del cerebro
Özbek (2009)	CT	Cráneos humanos neolíticos de Anatolia tratados con arcilla y ocre	Estudiar las técnicas mortuorias
Reimers et al. (1989)	CT	Esculturas pintadas, bonsái, y otros objetos de madera	Estudiar los anillos de crecimiento, en especial de coníferas
Rizescu et al. (2002)	CT	Cañon de Giurgiu	Detectar los defectos de fundición, la corrosión y mejorar la restauración
Rossi y Cassali (2002a)	CT	-	Discutir el uso de la tomografía en arqueometría y patrimonio
Shang et al. (2008)	CT	Huesos y cráneos de *Homo erectus* de China	Estudiar la tafonomía y la evolución de huesos
Simonov (2004)	CT	Médico	Estudiar los problemas físicos de la tomografía
Veniale et al. (2008)	CT	Patrimonio monumental construído	Diagonosticar el deterioro de la piedra
Yang et al. (2009)	CT	Cuentas antiguas de piedras	Visualizar marcas de pulido
Yang et al. (2011)	CT	Cuentas antiguas de piedras	Visualizar marcas de pulido
Harvig et al. (2011)	CT/R	Huesos cremados de urnas de Dinamarca del Bronce Final	Estudiar la intensidad de cremación
Bouzakis et al. (2011)	CT/R	Cerámica funeraria de la Edad del Hierro en Macedonia	Analizar morfométricamente con software de modelado sólido
Casali et al.(2010)	CT/R	Objetos arqueológicos, histórico artísticos y patrimonio cultural	Comparar ambas técnicas
Gostner et al. (2011)	CT/R	Hombre de hielo de los Alpes (5300 BP)	Estudiar los restos momificados y las causas de la muerte
Gostner y Vigil (2002)	CT/R	Hombre de hielo de los Alpes (5300 BP)	Estudiar los restos momificados y las causas de la muerte
Grim y Allison (2004)	CT/R	Pigmentos y pinturas	Estudiar la conservación y distribución espacial de los pigmentos
Griuffa et al. (2011)	CT/R	Momias medievales del renacimiento Italiano	Estudiar las mismas y sus rellenos de plantas
Hershkovitz et al. (1995)	CT/R	Cráneos neolíticos de Israel	Estudiar la matriz de yeso aplicada en la restauración
Hirata (2005)	CT/R	Momias egipcias antiguas	Análisis de estructura y conservación
Klaus et al. (2010)	CT/R	Huesos del Perú costero prehispánico	Estudiar lesiones y el ADN
Morigi et al. (2007)	CT/R	Pinturas sobre tablas de madera de Fabriano	Estudiar la conservación y distribución espacial de los pigmentos
Nedden et al. (1994)	CT/R	Hombre de hielo de los Alpes (5300 BP)	Estudiar los restos momificados y las causas de la muerte
Nobuyuki (2005)	CT/R	Pigmentos y pinturas	Estudiar la conservación y distribución espacial de los pigmentos
Pernter et al. (2007)	CT/R	Hombre de hielo de los Alpes (5300 BP)	Estudiar los restos momificados y las causas de la muerte
Seguin (1990)	CT/R	Objetos arqueológicos, histórico artísticos y patrimonio cultural	Comparar ambas técnicas
Tout et al. (1980)	CT/R	Urna de cremación romana, estatua egipcia, objetos de madera	Mostrar ejemplos de aplicación
Vainberg 1985	CT/R	Cerámicas de bajas densidades	Comparar ambas técnicas

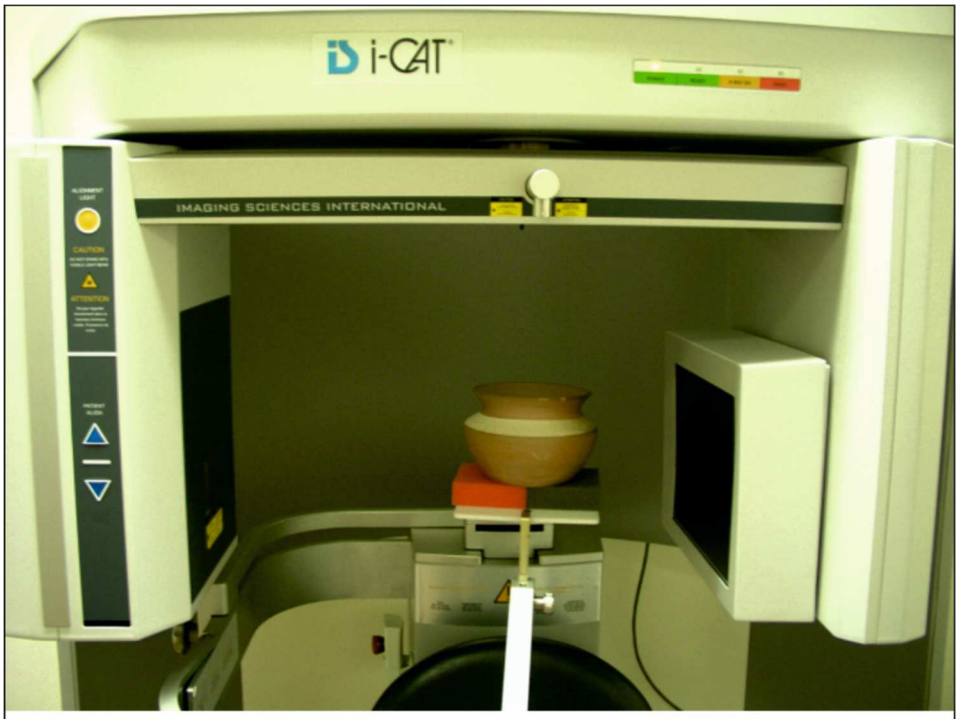
Tabla 1. Selección de los principales estudios realizados sobre objetos patrimoniales y museísticos con las técnicas de tomografía (CT). En algún caso complementando el análisis con radiografía (R). **Fuente:** P. Prieto-Martínez.

2. Material y Métodos

En la selección de los casos de estudio, se ha escogido un número amplio de materiales, en especial cerámicas, pero también otros materiales arqueológicos y algunas piezas de colección de un museo historia natural. El criterio de selección fue básicamente el escoger piezas de diferente naturaleza para poder observar contrastes en los diferentes resultados. En la **tabla 2.** recogemos el listado de muestras incluyendo su interés de análisis y en la **Figura 1.** se describen las características y condiciones de medida del equipo utilizado.

ID UAR	ID CBCT	ID Arq. (fragmento)	ID Arq. (pieza)	Época	Tipo de muestra	Origen	Interés de análisis
CERAMICA PREHISTORICA Y MEDIEVAL							
Mn07	PR05	MTN02/519	CAMTN007	Neolítico Final	Cuenco metopado	Yacimiento de Montenegro (Bueu)	Estudio incisos; radiodensidad
Fm01	PR06	PZ20/A001	CA20/001	Bronce Inicial	Vaso campaniforme	Dolmen de Forno dos Mouros (Toques)	Nitidez estructura interna y nódulos Fe; radiodensidad
Po71ta	PR28	PZPOU.02/584	CAPOU071	Alta Edad Media	Indeterminada	Yacimiento de A Pousada (Santiago de C.)	Visualización junta unión y pegamento; radiodensidad
Cidadela	PR04	PZCID06/201	CACID-001	Alta Edad Media	Cuenco vidriado	Yacimiento de Cidadela (Sobrado dos M.)	Estudio del vidriado; radiodensidad
CERAMICA MODERNA							
Rocha1 (RF02)	PR2	RF-05/552/478	-	XV-XVI	Cuenco con pintura	Castillo de Rocha Forte (Santiago de C.)	Estudio arcilla y decoración/Medir densidad
Rocha2 (RF03)	PR3	RF-04/502/4172	-	XV-XVI	Pote meleiro vidriado	Castillo de Rocha Forte (Santiago de C.)	Estudio del vidriado; radiodensidad
Rocha3 (RF01)	PR	RF05/615/2472	-	XV-XVI	Jarra vidriada	Castillo de Rocha Forte (Santiago de C.)	Estudo de la decoración o vidriado; radiodensidad
Po63ta (Po63)	PR25	PZ010404PO1_13	CAPOU063	Época Moderna	Anforeta de Indias	Yacimiento de A Pousada (Santiago de C.)	Identificación vidriado superficial; radiodensidad
Po69ta (Po69)	PR26	PZPOU_02_356	CAPOU069	Época Moderna	Plato vidriado	Yacimiento de A Pousada (Santiago de C.)	Identificación vidriado superficial; radiodensidad
Po57ta (Po57)	PR27	PZpou_02_198	CAPOU057	Época Moderna	Faineça portuguesa	Yacimiento de A Pousada (Santiago de C.)	Identificación vidriado superficial; radiodensidad
Po56ta (Po56)	PR23	PZpou_02_002	CAPOU056	Época Moderna	Jarra de gres de Raeren	Yacimiento de A Pousada (Santiago de C.)	Identificación vidriado superficial; radiodensidad
CERAMICA CONTEMPORÁNEA							
Po59ta (Po59)	PR24	PZpou_02_266	CAPOU059	Época Contemporánea	Plato liso	Yacimiento de A Pousada (Santiago de C.)	Identificación vidriado superficial; radiodensidad
Gundivos	PR10	-	-	Epoca Contemporánea	Jarra entera	Alfarería de Gundivós (Sober)	Visualizar estructura y barniz y cordón; radiodensidad
Buño001	PR20	-	-	Epoca Contemporánea	Indeterminada	Alfarería de Buño (Malpica de B.)	Visualizar estructura interna; radiodensidad
Ceram001	PR01	-	-	Epoca Contemporánea	Cuenco	Alfarería de Buño (Malpica de B.)	Recipiente entero y banda decorativa; radiodensidad
Tazasar	PR15	-	-	1991	Taza	Fábrica de Sargadelos (Cervo)	Desconchado del labio, decoracion azul; radiodensidad
FiFem	PR12	-	-	Época Contemporánea	Estatuilla	Fábrica de Sargadelos (Cervo)	Visualizar la estructura y ver colores; radiodensidad
Cuensar	PR13	-	-	Época Contemporánea	Cuenco tipo gres	Fábrica de Sargadelos (Cervo)	Ver grietas internas; radiodensidad
Popor	PR18	-	-	Época Contemporánea	Crisol industrial	Fábrica de Sargadelos (Cervo)	Visualizar capa superficial; radiodensidad
OTRAS CERÁMICAS							
Lucerna	PR11	-	-	1999	Lucerna	Alfarería de Teruel	Radiodensidad
Hueve	PR14	-	-	Época Contemporánea	Huevera	Alfarería de Albarracín	Ver forma y decoración; radiodensidad
Japo1	PR17	-	-	Época Contemporánea	Estatuilla	Japón	Visualizar estructura interna y forma; radiodensidad
Japo2	PR16	-	-	Época Contemporánea	Estatuilla	Japón	Visualizar estructura interna y forma; radiodensidad
OTROS MATERIALES ARQUEOLÓGICOS							
Sar01b	PR21	-	-	Época Contemporánea	Azulejo	Fábrica de Sargadelos (Cervo)	Vidriado y radiodensidad
Moneda1	PR8r	-	PR8r	1/4 siglo V	Moneda	Castillo de Rocha Forte (Santiago de C.)	Metal y óxidos
Moneda2	PR8	-	RF-03/205/545	1870	Moneda 5 cent. Isabel II	Castillo de Rocha Forte (Santiago de C.)	Metal y óxidos
Clavo	PR9	-	RF-04/LS/2873	Medieval	Clavo de hierro	Castillo de Rocha Forte (Santiago de C.)	Metal y oxidos
Vil1	PR65	-	-	Geológica	Sílex	Villalba	Identificación de materia primas de utensilio lítico
PIEZAS DE COLECCIÓN DE HISTORIA NATURAL							
Mamol01	PRM06	-	-	Plioceno-Holoceno	Molar de Mamut	Museo HN Luis Iglesias	Estudiar la fosilización de la estructura interna
Maver01	PRM01	-	-	Plioceno-Holoceno	Vértebra nº 1 de Mamul	Museo HN Luis Iglesias	Estudiar la fosilización de la estructura interna
Paj01	PRM08	-	-	Contemporánea	Pájaro disecado	Museo HN Luis Iglesias	Estudiar la conservación y montaje internos
Titi1	PRM11	-	-	Contemporánea	Tití disecado	Museo HN Luis Iglesias	Estudiar la conservación y montaje internos
Met01	PRM02	-	-	Contemporánea	Meteorito	Museo HN Luis Iglesias	Estudiar la estructura interna

Tabla 2. Listado de casos de estudio. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.



Técnica	Tomografía	**Ø max muestra (cm)**	25
Tipo de equipo	Haz de Cono	**Tipo imagen**	Dicom
Marca	I-CAT	**Software**	icatVision
Resolución (mm)	0,25	**Fuente**	5 mA, 120 kV
Peso max. muestra (kg)	2	**Exposición (s)**	14,7 s

Figura 1. Imágenes del equipo tomográfico I-CAT. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

3. Resultados

En este apartado iremos describiendo los resultados más destacados de cada pieza, en un orden cronológico y por tipo de material.

3.1. Cerámica

3.1.1. **Mn07.** Esta muestra es un fragmento de panza de un recipiente cerámico con forma de cuenco del Neolítico Final encontrado en el yacimiento de *Montenegro* (Península de O Morrazo, Pontevedra). Está decorado con incisión profunda hecha con un punzón imitando una metopa tipo *Penha*. La textura es porosa y tiene abundante desgrasante de granulometría media y distribución irregular, anguloso, sin nervio en fractura (sección monocroma). Los resultados tomográficos nos han permitido contrastar la información textural que había sido descrita antes a nivel macroscópico. En la tomografía se puede apreciar claramente la estructura porosa, con presencia de poros grandes aunque no muy frecuentes. Los desgrasantes angulosos se distribuyen irregularmente. Destacan especialmente los rasgos decorativos, pudiéndose en la tomografía distinguir muy bien los canales de las incisiones realizados de forma semicircular. Un estudio posterior más detallado podrá revelar aspectos más concretos a través del cálculo de medidas (morfometrías) pero con la información ahora extraída ya se demuestra la utilidad de la técnica (**vd. Figura 2.**).

3.1.2. **FM01.** Esta cerámica es un fragmento de panza de un vaso campaniforme de contexto funerario, del Dolmen de *Forno dos Mouros* (Concello de Toques A Coruña). Se clasifica tipológicamente como CZ/M y está decorado por impresión con concha y cuerda. Su textura es compacta, con abundante desgrasante de granulometría media y que se reparte de modo regular en todo el volumen, la angulosidad es mixta y no se observan nervios en la fractura (sección monocroma) (PRIETO-MARTÍNEZ, 2011; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2008). El estudio de las tomografías confirma la descripción textural, y además descubren algunos espacios porosos, aunque escasos en el interior de la pasta. En uno de los tomogramas se observa la abundancia del desgrasante de pequeño tamaño. No se aprecian, sin embargo, en este estudio preliminar los nódulos de hierro que sí se detectan cromáticamente en la fotografía, su valor de radiodensidad debe de ser semejante al del resto de la pasta. La decoración sólo se observa someramente como bandas en la reconstrucción 3D.

3.1.3. **Po71ta.** Esta cerámica es un fragmento de fondo de un recipiente cerámico liso de morfología indeterminada. Su cronología es de la Alta Edad Media y fue excavada en el asentamiento de *A Pousada* (Concello de Santiago de Compostela, A Coruña). Su textura es porosa, con abundante desgrasante anguloso, de granulometría fina y repartido de modo regular en el cuerpo cerámico. No se observan nervios en la fractura (sección monocroma) (BLANCO et al., 2010; LANTES-SUÁREZ, 2012; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2016b). El principal descubrimiento aportado por la técnica tomográfica es la que la porosidad de la pieza se revela a través de una imagen en su sección vertical. Se observan también algunos desgrasantes aislados de gran tamaño que están orientados en superficie y que se corresponden con estructuras planas, probablemente micas orientadas, algunas no visibles en un examen macroscópico.

3.1.4. **Cidadela.** Esta cerámica es un fragmento de borde de un cuenco cerámico modelado a torno y vidriado de producción importada altomedieval procedente del campamento militar romano de *Cidadela* (Concello Sobrado, Lugo). Su textura es porosa, con presencia de desgrasante muy abundante de granulometría gruesa. En la tomografía, destaca en la cerámica algún alineamiento de las partículas en su sección vertical con una apariencia ligeramente hojaldrada fruto de su modelado a torno. Se observan bastantes huecos en su interior de un tamaño considerable, y los desgrasantes se identifican abundantemente, en coherencia con el análisis macroscópico. En un tomograma, se observan restos del vidriado que forma una lámina fina pero regular en una de las caras de la cerámica, esta lámina tiene un espesor medio de 0,85 mm y no brilla mucho (baja radiodensidad) porque su composición es alcalina y no tiene plomo –elemento que contribuye notablemente a la radiodensidad-, como se pudo comprobar en análisis de microscopía electrónica que estamos realizando en estos momentos en la Unidad.

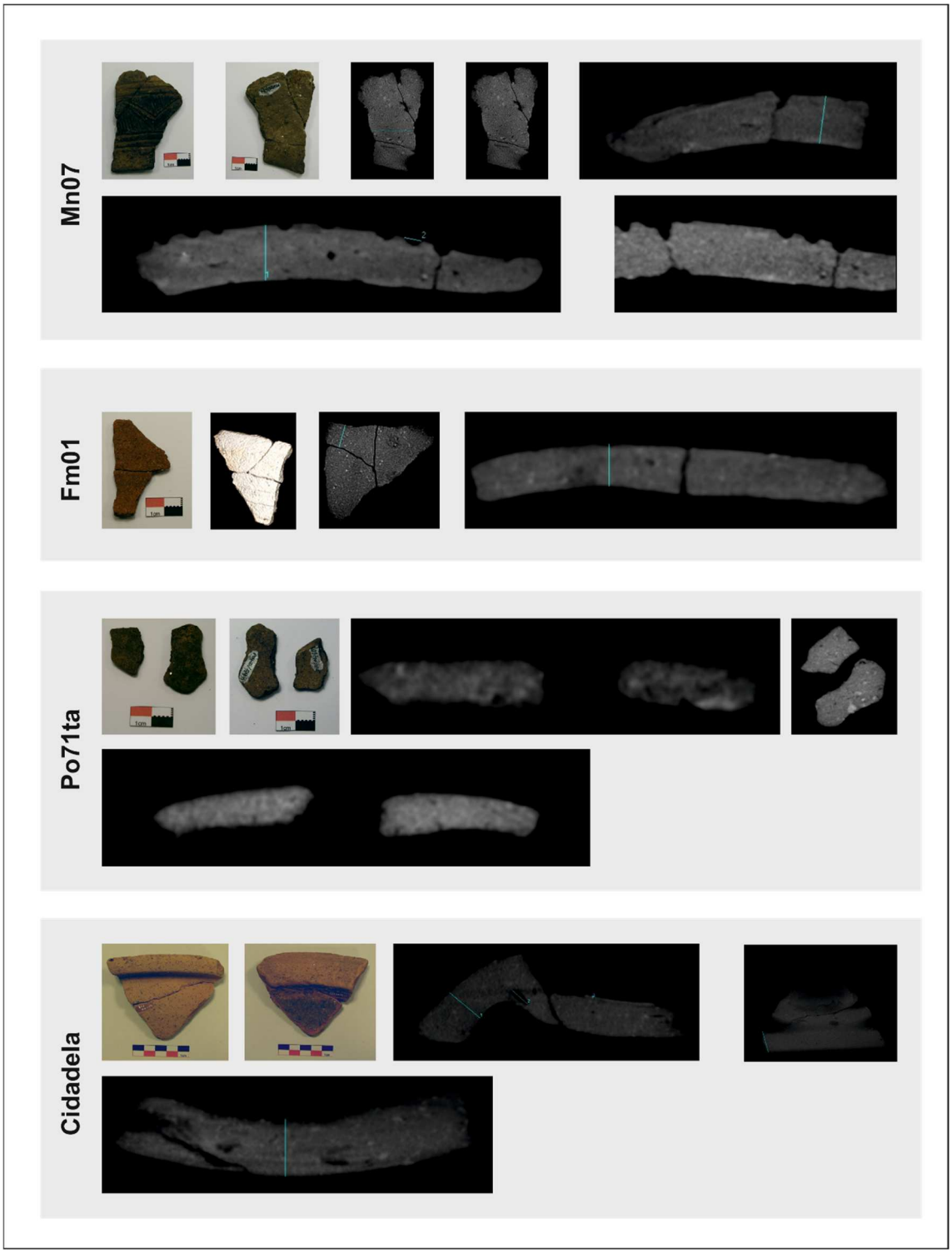


Figura 2. Fotografías y tomogramas de las cerámicas prehistóricas y medievales. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

3.1.5. **Rocha1.** Esta cerámica es un fragmento de recipiente de tipo cuenco realizado a torno del Castillo de *Rocha Forte* (Santiago de Compostela) (FERNANDEZ ABELLA, 2014). Tiene un vidriado exterior y también interior de color verde apagado. Sus pastas son de color sepia con una buena decantación y con texturas porosas finas. La tomografía descubre una orientación preferente de las partículas marcando fisuras longitudinales que confirman la elaboración de esta pieza a torno, también se detectan algunos poros de gran tamaño están dispersos por toda

la matriz cerámica. Toda la superficie está cubierta de un vidriado muy radiodenso (color blanco brillante) rico en un elemento químico de alto número atómico, cuyo análisis químico evidenció que es plomo utilizado como fundente (PRIETO MARTÍNEZ et al., 2016a). La tomografía también permitió conocer que la capa vidriada está bien adherida al cuerpo cerámico (**vd. Figura 3.**).

3.1.6. **Rocha2.** Fragmento vidriado melado perteneciente posiblemente a un *pote meleiro* también del Castillo de *Rocha Forte.* Su decoración es aserrada. Posee una cubrición vidriada entre amarillenta y melada, aunque su estado de conservación es malo y sólo es apreciable en su exterior. Sus pastas amarillentas presentan una buena decantación, con texturas compactas finas (PRIETO MARTÍNEZ et al., 2016a). El estudio tomográfico permite identificar en el interior algún poro ocasional de gran tamaño. Por lo general la pasta es muy homogénea y no se observan estrías claras de su elaboración a torno. El vidriado, como en el caso anterior, cuando está presente se observa muy claramente, y tiene en su composición un elemento químico de gran peso atómico (plomo) (PRIETO MARTÍNEZ et al., 2016a) que genera claros artefactos en la tomografía perceptibles como líneas claras y oscuras que irradian desde los nodos decorativos de la pieza. Este fenómeno es habitual en muestras metálicas o que contengan elementos metálicos en grandes cantidades y cuando aparece, se requiere de estudios más detallados que conjuguen diferentes condiciones de medida con la finalidad de intentar minimizar estos efectos.

3.1.7. **Rocha3.** Fragmento de loza dorada, de perfil cilíndrico y fuerte esvasamiento en la parte superior; podría ser la parte superior de una jarra con una panza globular (110x 95x12 mm). Encontrada igualmente en el Castillo de *Rocha Forte*. Sus pastas sepias presentan una buena decantación, con una textura porosa fina. Su vidriado es superficial. El interior es blanco y tiene la superficie craquelada siendo de peor calidad que el exterior. Se pueden observar claramente sus marcas de torno. El vidriado exterior es básicamente decorativo y está aplicado con 4 colores diferentes: marrón caoba, blanco, azul y negro. La pasta se caracterizó como calcárea, con presencia del mineral diópsido, que indica que ha sido cocida a alta temperatura (1100 °C) (PRIETO MARTÍNEZ et al., 2016a). En alguno de los cortes tomográficos se aprecian muy bien las marcas de torno en la superficie, y como el escalonamiento de éstas afecta a la cubrición del vidriado, dejando zonas de bajo grosor y con huecos porosos bajo esas zonas adelgazadas. Además, en otras áreas del vidriado se ve como éste no está bien unido al cuerpo cerámico con presencia de amplias bolsas de aire. La tomografía permite reconocer las zonas de debilidad del vidriado, que son las que potencialmente tienen mayor susceptibilidad de alterarse química (ataque por el agua) y mecánicamente (desconchado). En el cuerpo cerámico se aprecian también alguna línea de orientación de la pasta debido a la aplicación del torno. Los poros son relativamente abundantes en algunas zonas, casi siempre orientados en bandas circulares confirmando de un modo complementario el manejo a torno. El vidriado que es muy reconocible en la tomografía por su radiodensidad, tiene plomo en su composición, tal y como se estableció en algunas de las piezas anteriores.

3.1.8. **Po63ta.** Anforeta de Indias de los siglos XV-XVI. Está realizada a torno y decorada con vidriado. Se encontró en el yacimiento arqueológico de *A Pousada* (Santiago de Compostela, A Coruña). El fragmento analizado es una parte de asa que conserva el vidriado parcialmente. La textura es harinosa, con presencia de muy poco desgrasante de granulometría fina, distribuido regularmente y con contorno anguloso (BLANCO et al., 2010; LANTES-SUÁREZ, 2012; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2016b). El estudio tomográfico permite constatar la parcial conservación del vidriado. Este vidriado tiene que ser rico en plomo, pues es muy radiodenso (brillante) respecto al cuerpo cerámico; de ahí que los restos sean fácilmente detectables con esta técnica. El asa, externamente, bajo el vidriado, presenta una línea que podría corresponderse con la zona de unión de dos churros. En las tomografías no se ve una continuidad de esta línea hacia el interior de la pieza, lo que descartaría esta hipótesis y confirma la elaboración a partir de un único

churro. En el cuerpo cerámico, la textura es fina y granulada, coincidiendo con lo evaluado macroscópicamente, y se visualizan diferentes poros en el interior, alguno de ellos bastante grande (1 mm).

3.1.9. **Po69ta.** Plato de importación del siglo XVII o quizás algo más tardío. Está decorado por cubrición de vidriado y presenta un color blanco. El fragmento analizado, que se corresponde con un borde de la pieza, se encontró también en el yacimiento arqueológico de *A Pousada*. La textura es harinosa, con muy poco desgrasante de granulometría fina y distribuido regularmente. Se identificó el mineral mullita en alta cantidad (26%), que confirma una temperatura de cocción elevada (BLANCO et al., 2010; LANTES-SUÁREZ, 2012; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2016b). Los tomogramas constatan claramente la homogeneidad interna, no se aprecian desgrasantes, ni poros, ni orientación de las partículas, evidenciando una alta calidad de manufactura. En cuanto al vidriado, no se trata de una capa externa aplicada independientemente como en otros casos anteriores, si no que parece corresponderse a una zona vitrificada del propio cuerpo cerámico; en un tomograma se distingue una zona en el borde incluso más homogénea que en el interior pero muy posiblemente de la misma composición. El uso de una pasta muy decantada y la alta temperatura alcanzada en la cocción deben de ser las responsables de esta textura tan uniforme y homogénea.

3.1.10. **Po57ta.** Faiança portuguesa probablemente del siglo XVII, decorada por cubrición de vidriado blanco. Se encontró igualmente en el yacimiento arqueológico de *A Pousada*. El fragmento analizado es un asa que conserva el vidriado casi completo. La textura es harinosa, con muy poco desgrasante de granulometría fina, que se distribuye regularmente. Las pastas se identificaron como calcáreas, con la presencia de mucho diópsido (33%), confirmándose así altas temperaturas de cocción (900 °C; BLANCO et al., 2010; LANTES-SUÁREZ, 2012; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2016b). El estudio tomográfico deja ver una marcada orientación de la pasta definida por grandes poros alineados y con algunas bandas en la pasta menos perceptibles de color gris. Este hecho nos da pistas de cómo se elaboró el asa, no fue a través de hacer un churro sino probablemente través del modelado a torno de un vaso que luego se cortó en tiras para hacer asas, a diferencia de una de las cerámicas anteriores (Po63ta) que aparentaba ser elaborada con churro. El vidriado, visto *de visu*, tiene una ligera apariencia alterada, pero en el examen de su perfil en tomografía se aprecia cómo está bien conservado y además bien adherido al cuerpo cerámico. Con este fragmento se realizó una reconstrucción 3D. Esta reconstrucción, además de servir como registro 3D de la pieza permite apreciar la superficie irregular del asa.

3.1.11. **Po56ta.** Fragmento de panza de una jarra de gres alemán de finales del siglo XVI. Está decorada por motivos en altorrelieve y vidriada. Se encontró en el yacimiento arqueológico de *A Pousada.* La textura es compacta, con muy poco desgrasante, de granulometría fina y distribuido regularmente. En los análisis arqueométricos (BLANCO et al., 2010; LANTES-SUÁREZ, 2012; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2016b) se identificaron los minerales indicadores de altas temperaturas de cocción mullita (3%) y cristobalita (82%). En el examen macroscópico de la pieza, en su interior se observan las marcas de haber sido elaborada a torno. Éstas marcas son igualmente visibles en la tomografía. Las pastas son muy homogéneas y no se detecta la capa de vidriado, debido a que éste no tiene plomo (PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2015), la radiodensidad de esta capa es muy similar a la del cuerpo cerámico y su espesor muy fino. Parece más bien tratarse de una vitrificación de la parte más externa del cuerpo cerámico originada por las altas temperaturas alcanzadas, si bien, son necesarios estudios posteriores de mayor resolución con microtomografía para poder analizar en detalle esta capa. En una imagen coronal se pueden observar los detalles de la superficie decorada en relieve, en concreto la forma de una pierna humana, pero no es tan apreciable si se visualiza la pieza en sección, pues no se reconocen tan claramente las figuras. En la reconstrucción 3D se perfila muy bien la decoración.

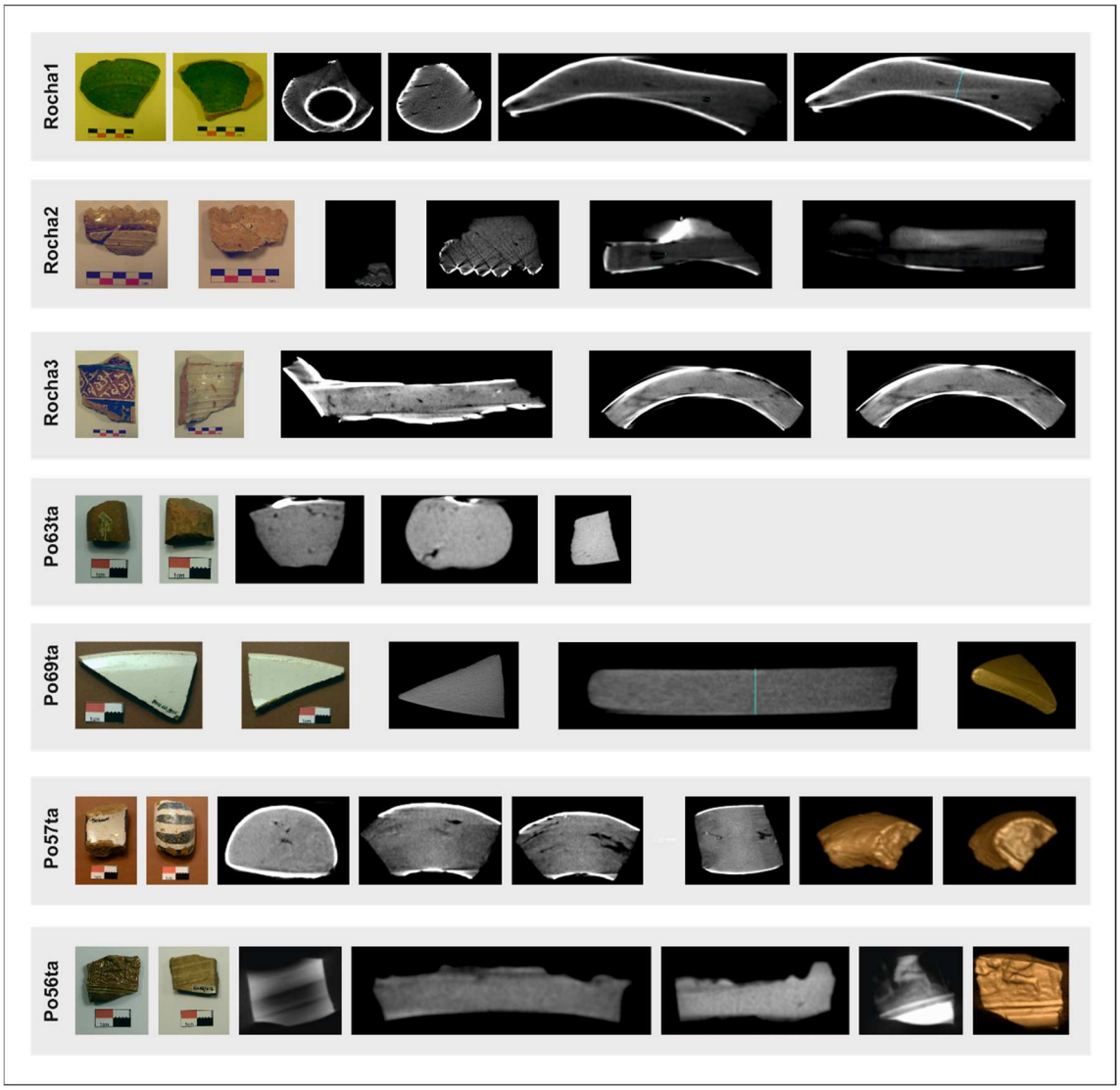


Figura 3. Fotografías y tomogramas de las cerámicas modernas. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

3.1.12. **Po59ta.** Fragmento de fondo de un plato blanco de importación realizado a torno que aparenta ser porcelana, con una cronología bastante reciente, quizás del siglo XIX, como muy atrás y localizada en el yacimiento de *A Pousada*. La textura es compacta y tiene muy poco desgrasante, éste de granulometría fina y bien distribuido. Se identificó mullita (68%), indicando una alta temperatura de cocción (BLANCO et al., 2010; LANTES-SUÁREZ, 2012; PRIETO-MARTÍNEZ et al., 2016b). El aspecto de la pasta, en el tomograma, es muy homogéneo, si bien, se detecta un cierto granulado distribuido muy homogéneamente. El vidriado, sin embargo, no es perceptible. En un análisis de microscopía electrónica se identificó esta capa, pero debe de ser tan fina, y de la misma composición del cuerpo cerámico que la convierte en indetectable con esta técnica tomográfica. Sería necesario realizar un estudio microtomográfico que mejoraría en varios órdenes de magnitud la resolución. La reconstrucción 3D de este fragmento da cuenta de la continuidad de la superficie, en buen estado y, con un aspecto pulido pero con erosiones en algunos bordes (**vd. Figura 4.**).

3.1.13. **Gundivós.** Esta jarra conserva el estilo del siglo XIX de la tradición alfarera de Gundivós (Concello de Sober, Lugo). Fue adquirida en un taller de la zona en 2009. Además de la morfología típica de estas piezas de boca lobulada rematada por un botón se caracteriza por su

saturado color negro y un revestimiento en el interior de resina de pino como impermeabilizante. Las dos imágenes completas de la jarra, se corresponden con un tomograma que abarca un grosor igual al diámetro de la pieza, lo que convierte al tomograma en una radiografía, pues se está recogiendo toda la información de la pieza superpuesta. En esta visión, que es útil para apreciar el aspecto general de las pastas, destaca la homogeneidad en la distribución del desgrasante por toda la pieza, que es además de un tamaño muy similar; se visualizan como granos brillantes. El asa y los cordones de las piezas están unidos al cuerpo de la vasija con perfección y sin apreciarse huecos o fisuras en la zona de contacto. Otro aspecto que se puede ver bien es la decoración, incluso en una proyección a lo largo del perímetro de la panza (**vd. Figura 4.**); última imagen de la fila superior) se aprecia la continuidad del motivo así como el relieve del cordón. Las últimas imágenes se corresponden con una reconstrucción 3D de la jarra. La morfología y los surcos y cordones de la superficie se definen claramente, lo que demuestra la utilidad de este tipo de reconstrucción para el estudio y registro de decoraciones en cerámica.

3.1.14. **Buño001.** Este fragmento forma parte de una jarra elaborada a torno en una experiencia de cocción al modo tradicional en la alfarería de Buño. En su elaboración (inicios s. XXI) se utilizaron pastas tradicionales, bien homogeneizadas y con presencia de pequeños desgrasantes aunque abundantes (LANTES-SUÁREZ, 2017). El análisis tomográfico constata la granularidad de las pastas y la buena distribución del desgrasante. En un perfil de la pieza se comprueba como las paredes son finas con presencia de una carena con paredes más gruesas, algo muy difícil de observar y todavía más de medir en un mero examen macroscópico.

3.1.15. **Ceram001.** Este cuenco se elaboró igualmente en una experiencia de cocción al igual que la pieza anterior. En las imágenes radiográficas (imágenes grises) se aprecia la distribución regular del desgrasante, que destaca como puntos claros sobre el resto del cuerpo cerámico (LANTES-SUÁREZ, 2017). En los tomogramas se pueden apreciar algunos poros alargados, paralelos a las superficies en un patrón de orientación circunferencial, probablemente originados en el proceso de modelado a torno. El fondo está bien unido con la panza del recipiente. La reconstrucción 3D es muy buena y permite incluso apreciar defectos que tiene la pieza en superficie, si bien, la banda decorativa no se distingue por tener la misma composición que el resto de la pasta.

3.1.16. **Tazasar.** Esta taza es una pieza de Sargadelos elaborada a finales del s. XX y adquirida en 1993. Está decorada superficialmente en azul. Sus pastas, como todas las que se utilizan en Sargadelos, son porcelana, caolines de muy alta calidad. Se comprueba que su textura es muy compacta, sin la presencia de desgrasantes apreciables. Destacan las líneas que aparecen en el asa, que se corresponden con una textura en hojaldrado resultado del proceso de pliegue de la pasta para la elaboración del asa. La reconstrucción 3D deja ver la perfección geométrica de la taza. Un aspecto importante que se ha visto es que la decoración no destaca en radiodensidad, quizás debido al fino espesor de la capa aplicada, y por tanto sería necesario un estudio microtomográfico en superficie para profundizar en el análisis de la decoración.

3.1.17. **FiFem.** Esta pieza pertenece también a Sargadelos, adquirida en 2011. Es la representación de una figura de mujer estilizada y hueca por dentro. Se percibe a través de la imagen tomográfica la silueta de la pieza tanto en su exterior como en su interior. Las paredes son finas y de un espesor constante en toda la pieza, muy homogéneas, como se corresponde con las porcelanas de esta marca. La decoración de la pieza no se aprecia en la tomografía, ni siquiera en una visión radiográfica, lo que indica que los pigmentos utilizados son muy similares en radiodensidad; esto limita el estudio de este aspecto a través de esta técnica.

3.1.18. **Cuensar.** Este cuenco se elaboró en un taller experimental de materias primas en 1993, en Sargadelos usando gres. Tiene la forma de crisol y está elaborado a mano con la técnica de

presión. Sus pastas son muy rugosas con claros desgrasantes. En los cortes tomográficos, se aprecia claramente esta rugosidad, e incluso se revela la presencia de nódulos arcillosos que están mal adheridos al resto de la pasta, por tanto, rodeados de poros de diverso tamaño y orientación. Estos nódulos no se habían detectado en el análisis macroscópico. En el resto de la pieza se observan poros más medianos y repartidos homogéneamente.

3.1.19. **Popor.** Esta pieza, fabricada igualmente en Sargadelos, tiene un uso industrial. Se trata de un crisol que se utiliza en hornos de alta temperatura y se elabora a partir de porcelanas de alta resistencia. En la tomografía, se observa que las paredes son extremadamente finas y regulares y la textura es muy compacta. Aunque tienen un brillo externo a nivel macroscópico, en la tomografía no se aprecia ninguna capa superficial. El análisis tomográfico ha permitido evaluar que la calidad de sus pastas es similar a la de las otras cerámicas analizadas de Sargadelos.

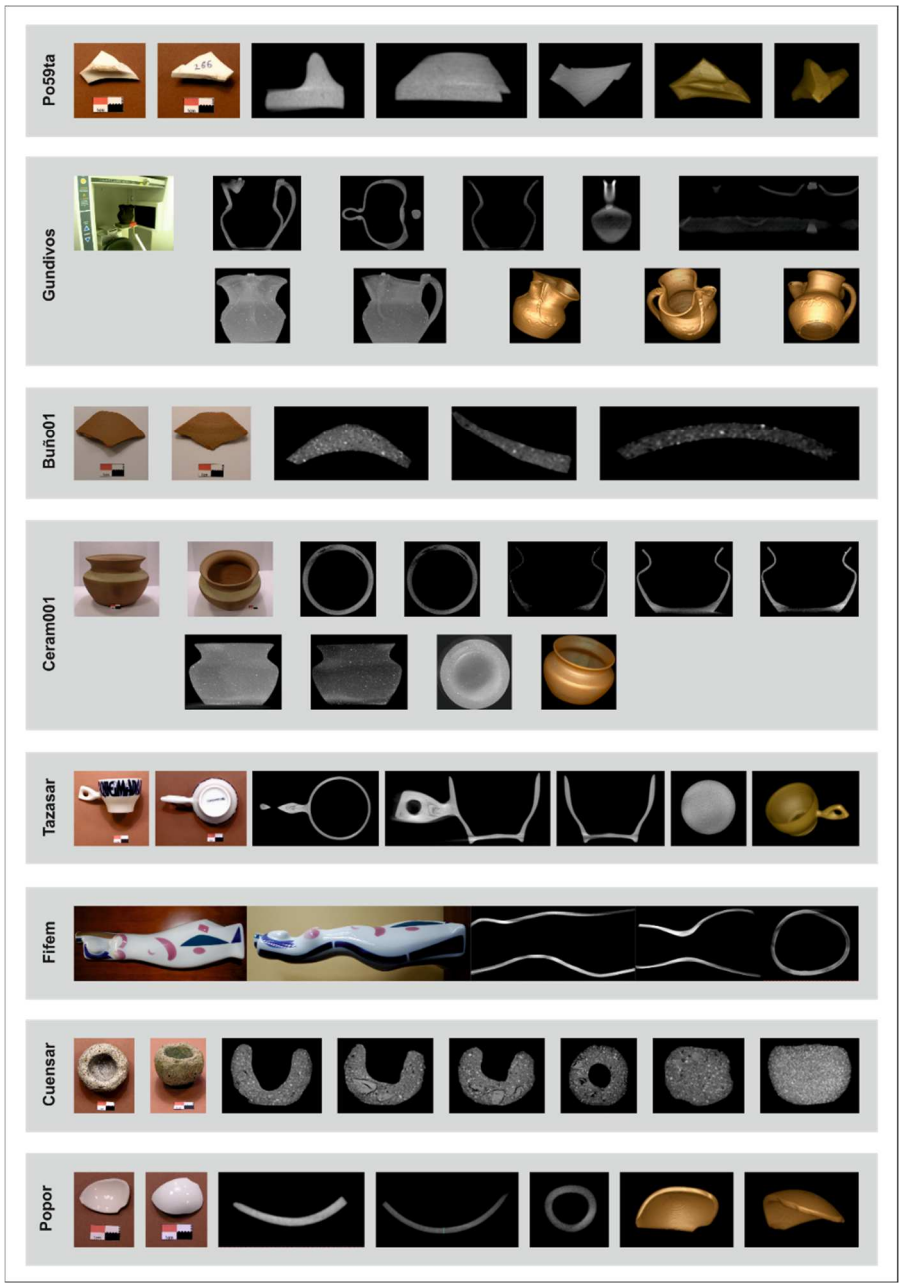


Figura 4. Fotografías y tomogramas de las cerámicas contemporáneas. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

3.1.20. **Lucerna.** Se trata de una lucerna de cerámica de la alfarería de Teruel, adquirida en el año 1999. Está vidriada y decorada en tonos verdes y marrones. El tomograma muestra como el vidriado está aplicado por toda la superficie de la pieza, incluido en el interior, y su grosor es muy constante en toda la pieza. En las pastas destaca lo compactas que son y la ausencia de desgrasantes apreciables. En cuanto a las fisuras, existen en la base de la pieza, hacia la zona del pitorro, lo que podría estar indicando una adición posterior de esta parte de la pieza. Tan solo son apreciables algunos poros en alguna zonas de unión (**vd. Figura 5.**). No hay cambios de radiodensidad en la visión radiográfica (imagen de fondo blanco), lo que indica que no se puede visualizar la decoración de la lucerna a partir de esta técnica, quizás por bajo radiocontraste en la composición de los pigmentos.

3.1.21. **Hueve.** Cerámica de la alfareía de Albarracín, adquirida en 1998, con una morfología de huevera decorada en azul. Posee un vidriado fino aplicado en su superficie, con diferente espesor según la zona y muy acumulado en el fondo de la copa. Seguramente se trate de un vidriado plomado, puesto que el brillo es similar a otros vidriados que hemos analizado tomográfica y químicamente. La concentración de plomo debe de ser alta puesto que se generan artefactos de difracción en algunos tomogramas (haces de líneas claras). Las pastas son compactas, algo granulosas pero con poco contraste entre arcilla y desgrasantes. En las paredes de la copa se observa una orientación de las partículas paralela a las superficies que se ocasionan por el moldeado a torno. La reconstrucción 3D permite estudiar la morfología de la pieza, si bien es necesario procesar en detalle los datos porque por la alta cantidad de elementos metálicos en el vidriado origina artefactos de difracción en el pie de la copa que sería necesario eliminar o bien repetir la tomografía con otras condiciones de exposición.

3.1.22**. Japo1.** Estatuilla cerámica adquirida en 2008 en Tokio (Japón), de color marrón oscuro y hueca por dentro. No tiene recubrimiento exterior y su textura es suave. El estudio tomográfico revela que las paredes son relativamente finas, no hay engrosamientos en su interior y se identifica algún desgrasante, no muy grueso pero que destaca sobre la pasta como granos más claros. Se observa algún poro ocasional alargado en el cuerpo cerámico. La reconstrucción tomográfica permite visualizar en detalle la morfología de la pieza, incluso de un modo más nítido que a partir de la propia fotografía. Se tiene constancia de que esta pieza se ha fabricado a molde pero no se puede contrastar más allá que la perfección de los detalles y el espesor constante de las paredes.

3.1.23. **Japo2.** Estatuilla cerámica adquirida con la anterior en 2008 en Tokio (Japón), de color marrón claro y hueca por dentro. No tiene recubrimiento exterior y su textura es suave. El estudio tomográfico revela unas características semejantes a la pieza anterior, de paredes relativamente finas, con algún engrosamiento en el área superior y una textura homogénea en la que casi no se distingue ningún granulado, a diferencia de la estatuilla anterior. En una de las imágenes se registra el valor de radiodensidad (unidades hounsfield) que servirán para comparará más adelante la radiodensidad de todas las cerámicas. La reconstrucción tomográfica permite apreciar con nitidez la morfología externa de la pieza, y en relación a los comentarios sobre el uso de molde en la manufactura de la pieza, remitimos a lo comentado en Japo1.

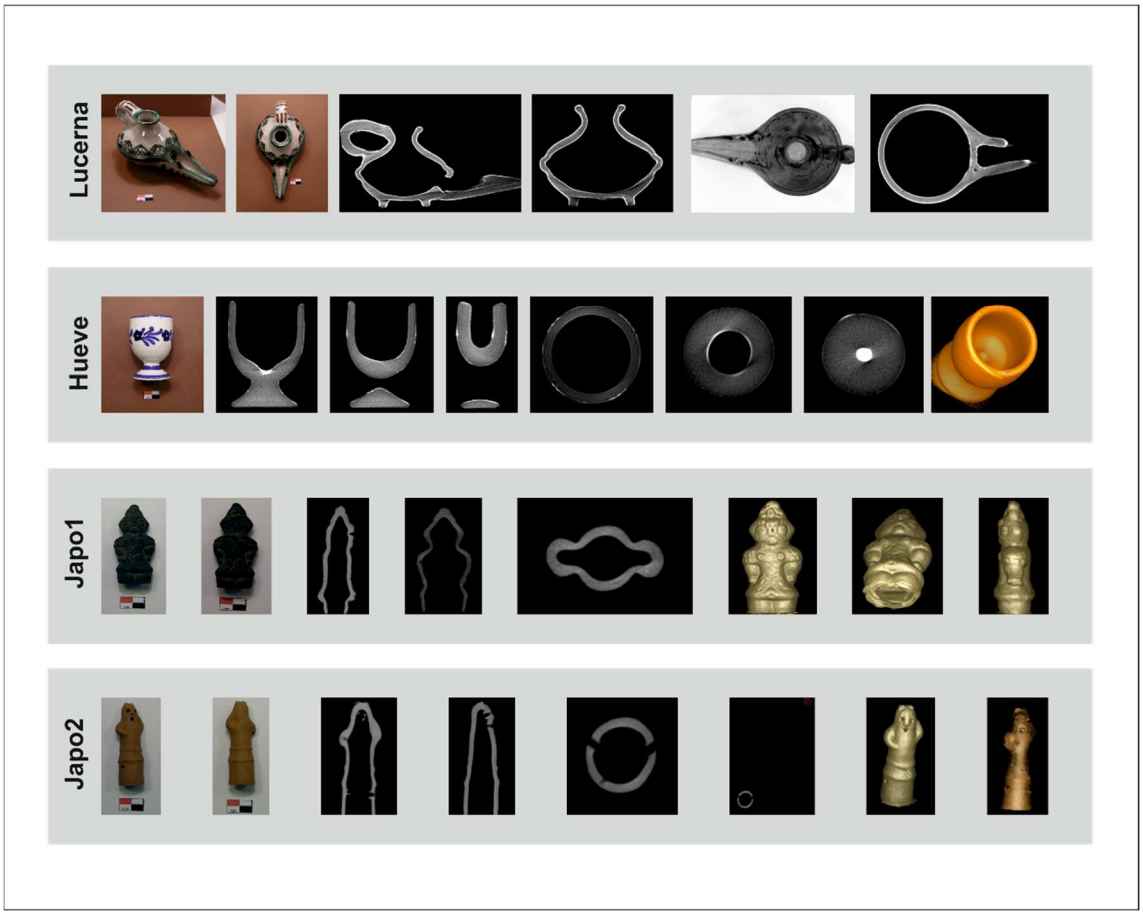


Figura 5. Fotografías y tomogramas de otras cerámicas. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

3.1.24. **Sar01b.** Fragmento de azulejo recuperado en una prospección en superficie en las antiguas fábricas de Sargadelos. Se encuentra relativamente rodado y en una cara está decorado en verde. Sus pastas son blancas y compactas. La tomografía muestra una textura homogénea, ligeramente granulada pero regular y compacta. En el exterior se aprecian dos capas algo más radiodensas que se corresponden con el vidriado de la pieza; en cualquier caso no se trata de vidriados gruesos como en otras cerámicas modernas pero se puede llegar a visualizar a través de la tomografía (**vd. Figura 6.**).

3.2. Metal

3.2.1. **Moneda1.** Esta moneda fue recuperada en el sector 35 del Castillo de *Rocha Forte* (Santiago de Compostela, A Coruña) en el primer cuarto del siglo XV. Está bastante deteriorada y oxidada en su superficie. Aunque el estudio tomográfico no es muy satisfactorio, pues al ser de composición metálica se generan fácilmente artefactos de difracción, ya observados antes en algunos vidriados de plomo, pero mucho más intensos en este caso. Estos artefactos se visualizan como rayos de luz que distorsionan la morfología real de la pieza y que además hacen imposible la reconstrucción tomográfica 3D. Para este tipo de objetos es imprescindible jugar con las condiciones de exposición para minimizar estos efectos. A grandes rasgos, sí que se puede igualmente ver la parte interna de la moneda, y aunque las imágenes sean de baja calidad

se pueden observar heterogeneidades y fisuras, en este caso ambas ausentes en la pieza, en la que además el avance de la corrosión no está muy pronunciado.

3.2.2. **Moneda2.** Moneda de 5 céntimos de Isabel II acuñada en 1870 (recuperada en el sector 32 del mismo castillo de *Rocha Forte.* Su estado de conservación es bastante bueno conservándose el relieve de ambas caras. La imagen tomográfica es mejor que en el caso de la moneda anterior. Se observa un ligero estado de oxidación en la zona central, más pronunciado que en los bordes, visualizado con un color más grisáceo y menos claro.

3.2.3. **Clavo.** El clavo es de hierro y de origen medieval, excavado en el sector 34 del Castillo de *Rocha Forte*. Su estado de conservación es bastante bueno pero está oxidado externamente. El estudio tomográfico deja acceder al interior del clavo y ver su estructura interna. En este caso la tomografía es muy útil para evaluar su grado de corrosión, de hecho en algunos tomogramas se aprecia claramente como está afectada la superficie oxidada y con desconchamiento y desprendimientos mientras que la parte interna se conserva bastante bien, en concreto el núcleo de la cabeza es plenamente metálico.

3.3. Piedra

3.3.1. **Vil1.** Este fragmento de sílex es una muestra geológica del concello de Villalba (Lugo) y que se recuperó para utilizar como muestra de referencia en estudios de procedencia de sílex arqueológico. Es un material relativamente oscuro y algo granulado. El estudio tomográfico confirma que el interior también es granulado y homogéneo, si bien presenta bastantes poros o fisuras. En esta muestra sería importante la caracterización de la textura interna y el cálculo de su radiodensidad pues puede permitir luego comparar con otros fragmentos geológicos y muestras arqueológicas que no puedan ser muestreadas para su análisis en otras técnicas.

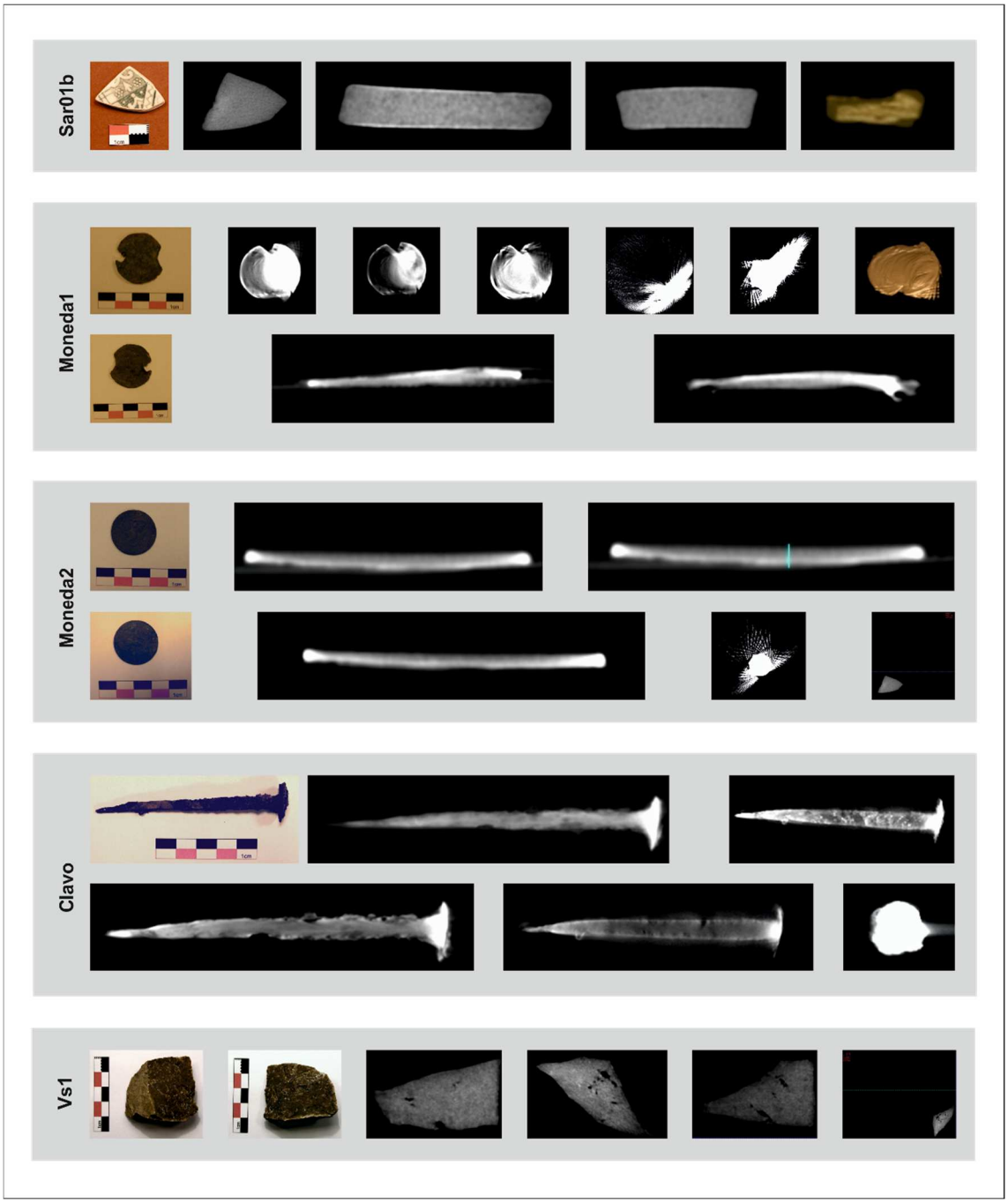


Figura 6. Fotografías y tomogramas de otros materiales arqueométricos. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

3.4. Piezas de colección del Museo de Historia Natural Luis Iglesias de la Universidad de Santiago de Compostela

3.4.1. **Mamol01.** Molar de un mamut. Está fosilizado, en buen estado aparentemente pero se deshace algo a nivel superficial, si bien las crestas de esmalte de los molares, de contorno ondulado, se conservan relativamente bien y duras. El estudio tomográfico permite confirmar el buen estado de las crestas de esmalte de los molares en el interior. Otras partes del molar también están en un estado aceptable de conservación, no detectándose grandes fisuras o poros internos (**vd. Figura 7.**).

3.4.2. **Maver01.** Vértebra del mismo mamut, que también ser conserva en buen estado. El estudio tomográfico permite constatar este buen estado en el interior de la pieza y diferenciar claramente las trabéculas óseas que, en algunos casos, están rellenas de sedimento.

3.4.3. **Paj01.** Pájaro disecado de la colección América del mismo museo. Está en buen estado de conservación y montado sobre un pie de madera. En este estudio, el principal objetivo era explorar el animal en su interior y ver detalles del proceso de taxidermización. Se puede ver con claridad el complejo entramado de alambres que mantienen al animal en su posición. Destacan asimismo los ojos de vidrio.

3.4.4**. Titi1.** Tití disecado de la misma colección que el anterior. También está en buen estado y montado en un pie de madera. En este estudio, al igual que en el anterior, el principal objetivo era explorar el animal en su interior y ver detalles del proceso de taxidermización. Se puede ver el entramado de alambres que mantienen al animal en su posición, igualmente los ojos de vidrio y también otros detalles como la estructura del cráneo, incluso con su dentadura que se haya en buen estado y completa. Gracias a la tomografía se podría realizar un estudio anatómico en base a la tomografía sin tener que diseccionar la pieza.

3.4.5. **Met01.** Meteorito de tipo condrita que se caracteriza por ser rocoso en lugar de metálico. Es muy denso de color negro y con alguna parte de la superficie rascada que deja ver una textura interna granulada. Los tomogramas confirman esa textura que es radiodensa y homogénea, si bien, sí se aprecia cierta granularidad. Los minerales deben de ser ricos en elementos metálicos como se evidencia por el brillo de las imágenes, además se generan artefactos de difracción como los mostrados en la última imagen de esta muestra, donde estos efectos, en este caso, forman claramente una estrella de seis puntas.

Figura 7. Fotografías y tomogramas de las piezas de colección del Museo de Historia Natural Luis Iglesias. **Fuente:** O. Lantes-Suárez.

4. Medidas de Radiodensidad

La radiodensidad hace referencia a la atenuación de los rayos X cuando pasa por la muestra, cada voxel -unidad mínima tomografiada- tendrá un determinado valor de radiodensidad que depende del tipo de mineral y de la cantidad de microhuecos que estén dentro de ese voxel. Es una *variable resumen* que caracteriza la pasta cerámica, pues combina información relativa a la composición y a la porosidad (o cantidad de aire interno). Estos valores de radiodensidad se midieron en las piezas arqueológicas de este trabajo en cinco áreas muestreadas al azar (rectángulos de 1-3 mm de lado) de cada pieza siempre en zonas representativas de las muestras. En el caso de las cerámicas se determinaron por separado los vidriados y los cuerpos cerámicos.

Este primer análisis preliminar tenía el propósito de evaluar si existían diferencias entre los diferentes materiales. En la representación comparativa de las medias y sus desviaciones típicas de las medidas efectuadas a cada muestra, se puede comprobar como la gran mayoría de piezas tienen valores de radiodensidad que oscilan entre 1000 y 2000 unidades hounsfield (**vd. Figura 8**.), es decir, podemos llegar a diferenciar tipos de materiales, en mayor o menor medida.

Como materiales de referencia se introdujeron valores de radiodensidad del aire, aceite y agua. El aire es el que presenta los valores de unidades Hounsfield más bajos: -1000 HU. El aceite tiene unos valores medios de -464 y el agua de -358. En el resto de muestras, todos los valores son positivos. Para el caso de los vidriados, (señalados en la figura con _V_) tienen valores muy altos comprendidos entre las 4000-9000 HU; valores algo más bajos son los de los objetos metálicos (Moneda1, Moneda2, Clavo) que con una composición muy probablemente férrica, tienen unos valores Hounsfield entre 3000 y 5000 HU. Destacan también otros objetos cerámicos, foráneos a Galicia (Hueve, Japo1, Japo2), con una radiodensidad relativamente más baja que la media del resto. Hacia el lado opuesto, con valores ligeramente superiores a la media están la Lucerna, el azulejo de Sargadelos (Sar01b) y el fragmento de sílex (VS1). Para el resto de las cerámicas, todas gallegas, se diferencian como grupo del resto de los materiales comentados, pero entre ellas es difícil establecer diferencias, pues todas tienen radiodensidades similares y probablemente porque comparten una composición común alúmino-silicatada con barros de tipo caolinítico, que son los que existen en Galicia.

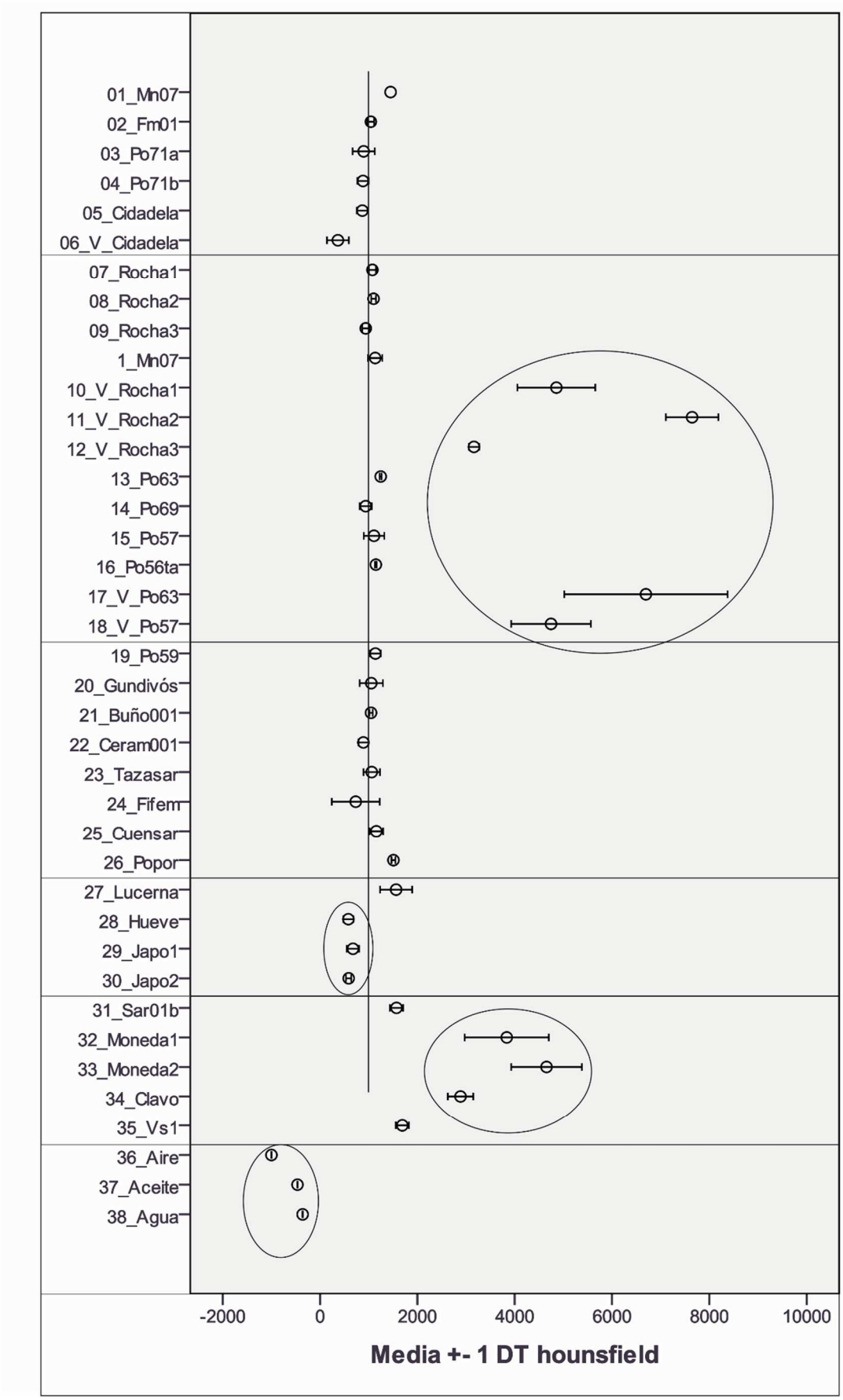


Figura 8. Gráfico de radiodensidades (en unidades Hounsfield) de algunos de los materiales tomografiados. **Fuente:** O. Lantes-Suárez & P. Prieto Martínez.

5. Síntesis Final

La tomografía es una técnica que en la actualidad tiene un amplio uso en ámbitos no clínicos como el campo de la paleontología, los bienes culturales y la arqueología, sin embargo, en Galicia es la primera ocasión en la que se utiliza esta técnica con estas finalidades. En los primeros ensayos realizados planteamos que era necesario valorar su potencial como herramienta analítica a incluir en los estudios arqueométricos y de conservación y restauración de bienes culturales. En especial, era necesario evaluar la accesibilidad a los equipos tomográficos, no siempre disponibles y el tipo de información concreta que se podíamos obtener con la técnica. Sin duda alguna, una de las grandes ventajas es que se trata de una técnica no destructiva, no invasiva y que permite incluso analizar un objeto aunque esté envuelto en material de embalaje. Los principales resultados que hemos obtenido son de dos tipos, por un lado se crea un registro virtual de la pieza, de su morfología, que se puede recrear tridimensionalmente con fines de investigación, expositivos y divulgativos. Por otro lado, se generan imágenes del interior de las piezas que revelan su estructura y textura interna, granulosidad, poros, fisuras, imperfecciones, homogeneidades, capas, etc. En este sentido se han podido evaluar, para los diferentes materiales analizados, las texturas de las pastas de cerámicas, los tipos de vidriados y su adherencia de los cuerpos cerámicos, la morfología de las decoraciones, estudio de los estados de alteración, fisuraciones, el montaje del armazón de alambre en el caso de las piezas de taxidermia, o la corrosión de los metales en el caso del clavo y las monedas. Todas estas informaciones no sólo se traducen en datos cualitativos a través de imágenes, sino que se pueden cuantificar realizando morfometrías y complementariamente se pueden calcular las radiodensidades en Unidades Hounsfield, lo que permite comparar, y en algunos casos diferenciar, materiales según esta magnitud.

Este trabajo lo encuadramos como un ensayo de *screening*, que nos ha permitido testar la técnica, acumular experiencia, plantearnos nuevas preguntas y está sirviendo, en estos momentos, de base para el diseño de otros estudios más complejos y diversificados. Dado que la tomografía tiene límites de resolución limitantes para algunos casos de estudio, estamos incorporando en algunos ensayos la microtomografía así como técnicas radiográficas, en especial éstas aplicadas a objetos planares como lienzos. Los objetivos de los trabajos que tenemos en marcha son variados, en algunos de ellos se trata de establecer comparaciones entre las diversas técnicas, otros son casos singulares de estudio, en piezas con un alto valor patrimonial y arqueológico, como tallas policromadas de madera (TAC) o lienzos sobre óleo de pintura barroca (radiografía de gran formato) o recipientes cerámicos prehistóricos (TAC) de gran volumen. También estamos emprendiendo estudios más sistemáticos para caracterizar las improntas de conchas en decoración de cerámica campaniforme (microtomografía), sobre conjuntos de fragmentos de cerámicas prehistóricas (técnica CBCT) con la finalidad de clasificarlas y realizar futuras reconstrucciones de recipientes y análisis de jarras que se conservan íntegras de época medieval (técnica CBCT), también con fines clasificatorios y para obtener información cuantitativa contenida en los histogramas de radiodensidad. Finalmente, también se están iniciando (técnica TAC) registros con cerámica de época contemporánea, anforetas de indias y otras piezas de origen inglés, cuyos resultados serán publicados próximamente en detalle.

Es aconsejable que todas las investigaciones relacionadas con las técnicas tomográficas se planteen con una planificación previa en la que se definan muy claramente los objetivos a alcanzar, pues esto es fundamental a la hora de abordar y diseñar los estudios analíticos posteriores, sean éstos con fines de caracterización, clasificación, conservación, restauración, investigación o generación de productos didácticos o expositivos. La gran versatilidad de la tomografía nos está mostrando que todavía quedan muchos caminos a explorar para extraer conocimiento de piezas arqueológicas y museísticas de diferente naturaleza.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo se financia dentro del programa de actividades de difusión promovidas por la Rede de Infraestructuras de Apoio á Investigación e ó Desenvolvemento Tecnolóxico (RIAIDT) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC). La contribución de M. P. Prieto se financia a través del proyecto de investigación: *Tecnología y producción de la cerámica medieval de Galicia* (MC-PTG). HAR2015-64441-P (Plan Nacional: Ministerio de Economía y Competitividad, Convocatorias 2015, Proyectos EXCELENCIA y Proyectos RETOS, Dirección General de Investigación Científica y Técnica, Subdirección General de Proyectos de Investigación). Agradecemos el aporte de algunas de las piezas que se analizaron por parte de María Isabel Fraga Vila (Mamol01, Maver01, Paj01, Tit1 y Met01) - directora del Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela-; a los investigadores Carlos Rodríguez Rellán (Vil1), María Raquel Casal García (Rocha1, Rocha2 y Rocha3) y Manuel Caamaño Gesto (Cidadela) y también a Inmaculada Tomás Carmona y Antonio González Mosquera, responsable y técnico, respectivamente del tomógrafo utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, T.; FELL, C. - Analysis of roman cremation vessels by computerized tomography. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 22, nº 5 (1995), p. 609-617.

APPLBAUM, N.; APPLBAUM, Y. H. - The use of medical Computed Tomography (CT) Imagin in the study of ceramic and clay archaeological artifacts from the Ancient Near East. In: UDA, M.; DEMORTIER, G. y NAKAI, I. (ed. lit.). **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7. p. 231-245.

BARBERINI, V. [et al.] - Multi-analytical characterization of archaeological ceramics. A case study from the Sforza Castle (Milano, Italy). **Geophysical Research Abstracts**. ISSN 1607-7962. Vol. 11 (2009), pp. 7970-7971.

BERDONDINI, A. [et al.] - The successful use of Computed Tomography in the Study of archaeological finds. In TURBANTI-MEMMI (ed. lit.). **Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry**. ISBN 978-3-642-146770 Berlin: Springer-Verlag, 2011. Part 10, p. 575-578.

BERG, I. - Looking through pots: recent advances in ceramics X-radiography. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 5 (2008),p. 1177-1188.

BLANCO, R. [et al.] - El despoblamiento de A Pousada: La formación de una aldea rural en la Alta Edad Media. In M. P. PRIETO-MARTÍNEZ; F. CRIADO-BOADO (compil.) **Reconstruyendo la historia de la comarca del Ulla-Deza (Galicia, España). Escenarios arqueológicos del pasado**. Santiago de Compostela: Traballos de Arqueoloxía e Patrimonio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2010. ISBN 978-84-00-09134-7. Vol. 41, p. 111-120.

BONADIES, S. D. - Tomography of Ancient Bronzes. 2007. In SCOTT, D. A.; PODANY, J. Y CONSIDINE, B. B. (ed. lit.). 2007. **Ancient & Historic Metals. Conservation and Scientific Research. Proceedings of a Symposium organized by the J. Paul Getty Museum and the Getty Conservation Institute. November 1991**. Singapore: The J. Paul Getty Trust: 2007. ISBN ISBN 0-89236-231-6. p. 75-84.

BONOGOFSKY, M. - Reassessing “dental Evulsion” in Neolithic plastered skulls from the Levant through the use of Computed Tomography, Direct Observation and Photographs. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 29, nº 9 (2002), p. 959-964.

BOUZAKIS, K. D. [et al.] - An investigations of ceramic forming method using Reverse Engineering Techniques: The case of Oinochoai from Dion, Macedonia, Greece. **Journal of Archaeological Method Theory**. ISSN 1072-5369. Vol. 18 (2011), pp. 111-124.

BOUZAKIS, K.-D. [et al.]. - Design and manufacturing aspects of a vaginal speculum of antiquity, as investigated by computer tomographies. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 3 (2008), p. 633-642.

BROWNE, J. A.; KOSHY, M. Y STANLEY, J. H. - On the application of discrete tomography to CT-assisted engineering and design. **International Journal of Imaging Systems and Technology**. ISSN 1098-1098. Vol. 9, nº 2-3 (1998), p. 78-84.

CARR, C. - Advances in ceramic radiography and analysis: applications and potentials. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 17, 1990, p. 13-14.

CARR, C. Y EARLE B. RIDDICK, JR. - Advances in ceramic radiography and analysis: Laboratory methods. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 17, nº 1 (1990), p. 35-66.

CARRETERO DÍAZ, J. M. et al. - La tomografía axial computerizada (TAC) y su utilizad para el estudio, conservación y difusión del Patrimonio Paleontológico. Algunos ejemplos de la Sierra de Atapuerca. In: DEL EGIDO, M. y JUANES, D. (compil.) - **La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservacion del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, 2010, p. 196-204. ISBN 978-84-8181-461-3.

DEL EGIDO, M.; JUANES, D. (compil.) - **La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservacion del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, 2010. ISBN 978-84-8181-461-3. p. 196-204.

CARLSON, K. J.; PICKERING, T. R. - Shape-adjusted bone mineral density measurements in baboons: other factors explain primate skeletal element representation at Swartkans. **Journal of archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 31, nº 5 (2004), p. 577-583.

CASALI, F. [et al.] - New x-ray digital radiography and Computed Tomography for cultural heritage. In MONTAGNARI KOKELJ, M.; BUDINICH, M. Y TUNIZ, C. (ed. lit.). **Science for Cultural Heritage. Technological Innovation an Case Studies in Marine and Land Archaeology on the Adriatic Region and Inland. VII International Conference on Science, Arts and Culture**. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2010. ISBN 978-981-4307-06-2. 226-237.

CASALI, F. [et al.] - New x-ray digital radiography and Computed Tomography for cultural heritage. In MONTAGNARI KOKELJ, M.; BUDINICH, M. Y TUNIZ, C. (ed. lit.). **Science for Cultural Heritage. Technological Innovation an Case Studies in Marine and Land Archaeology on the Adriatic Region and Inland. VII International Conference on Science, Arts and Culture**. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2010. ISBN 978-981-4307-06-2. 226-237.

CESÁREO, R. [et al.] - X-ray Transmision Tomography for the study of works of art. In PIACENTINI, M.; SCIUTI, S. (ed. lit.). 2002. **Archaeometry in Europe in the third Millenium**. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 2002. ISBN: 88-218-0880-07. p. 222-225.

CHENINN, D. L. - Tomografía dinámica de haz cónico en el tratamiento ortodóncico. **Maxilaris**. ISSN 1139-1626. Vol. 13, Nº 133 (2010), p. 102-110.

FERNÁNDEZ ABELLA, D. - El Castillo de A Rocha Forte, un ejemplo para el estudio de la guerra bajomedieval. **Roda da Fortuna. Revista Electrónica sobre Antiguidade e Medievo**. ISSN 2014-7430. Vol 3, nº 1-1 (2014), p. 225-256.

GONZALEZ-REIMERS, E. [et al.] - Quantitative computerized tomography for the diagnosis of osteopenia in prehistoric skeletal remains. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 34, nº 4 (2007), p. 554-561.

GOSTNER, P.; VIGL, E. E. - INSIGHT: Report of radiological-forensic findings on the Iceman. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 29, nº 3 (2002), p. 323-326.

GOSTNER, P. [et al.] - New radiological insights into the life and death of the Tyrolean Iceman. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38 (2011), p. 3425-3431.

GREENE, A. [et al.] – The digital radiography of archaeological pottery: Program and protocols for the analysis of production. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 78, 2017, p. 120-133.

GRIESHABER, B.M. [et al.] - A pilot study into the effects of X-ray and computed tomography exposure on the amplification of DNA from bone. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 3 (2008), p. 681-687.

GRIM, D. M.; ALLISON, J. - Laser Desorption Mass Spectrometry as a tool for the analysis of colorants: The identification of pigments used in illuminated manuscripts. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 46, nº 2 (2004), p. 283-299.

GRIUFFA, V. [et al.] - Embalming methods and plants in Ranaissance Italy: two artificial mummies from Siena (central Italy). **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38, nº 8 (2011), p. 1949-1956.

HARVIG, L.; NYNNERUP, N.; AMSGAARD EBSEN, J. - Computed tomography and computed radiography of Late Bronze Age cremation urns from Denmark: an interdisciplinary atttemp to develop methods applied in bioarchaeological cremation research. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 54, nº 2 (2012), p. 369-387.

HERSHKOVITZ, I. [et al.] - Remedy for an 8500 year-old plastered human skull from Kfar Hahoresh, Israel. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 22, nº 6 (1995),p. 779-788.

HIRATA, K. - Radiographic findings in ancient egiptian mummies. In: UDA, M.; DEMORTIER, G. y NAKAI, I. (ed. lit.). **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7. p. 231-245.

HUNTER, F. J. [et al.] - The scientific identification of archaeological Jet-Like artefacts. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 35, nº 1 (1993), p. 69-89.

HUPPERTZ, A. [et al.] - Nondestructive Insights into composition of the Sculpture of Egyptian Queen Nefertiti with CT. **Radiology**. ISSN 1527-1315. Vol. 251, nº 1 (2009), p. 233-240.

JACOBS, P.; SEVENS, E.; KUNNEN, M. - Principles of computerized X-ray tomography and applications to building materials. **Science of the Total Environment**. ISSN 0048-9697. Vol. 167 (1985), p. 161-170.

JUANES, D.; JUÁREZ, P. - Aplicación de los estudios TAC a la recuperación de la talla original y la antigua policromía de la Virgen de las Batallas. En: DEL EGIDO, M.; JUANES, D.; DIEGO, C.; DOMINGO, M.; BUESO, M.; VERGEL, M. (compil.). **La Ciencia y el Arte III. Ciencias Experimentales y conservacion del patrimonio**. Ministerio de Cultura, Secretaría General Técnica, 2011. ISBN NIPO 551-11-103-6. p. 239-252.

JUANES, D. - La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera. In: DEL EGIDO, M. y JUANES, D. (compil.) - **La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservacion del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, 2010, p. 196-204. ISBN 978-84-8181-461-3.

JUANES, D. (compil.) - **La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservacion del Patrimonio Histórico**. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica, 2010. ISBN 978-84-8181-461-3. p. 196-204.

KLAUS, H. D. [et al.] - Tuberculosis on the north coast of Peru: skeletal and molecular paleopathology of late pre-Hispanic and postcontact mycobacterial disease. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 37, nº 10 (2010), p. 2587-2597.

KYLE, J. R.; MOTE, A. S.; KETCHAM, R. A. - High resolution X-ray computed tomography studies of Grasberg porphyry Cu-Au ores, Papua, Indonesia. **Mineralium Deposita**. ISSN 0026-4598. Vol. 43, nº 5 (2008), p. 519-532.

LAM, Y. M. [et al.] - Bone density and long bone representation in Archaeological Faunas: comparing results from CT and Photon Densitometry. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 25, nº 6 (1998), p. 559-570.

LAM, Y. M. [et al.] - Bone density studies in zooarchaeology. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. 30, nº 12 (2003), p. 1701-1708.

LANTES-SUÁREZ, O. - Estudio arqueométrico de la cerámica. Estudio de los vidriados. In PRIETO

LANTES-SUÁREZ, O.; DOVAL GALÁN, J. F.; PRIETO MARTÍNEZ, M. P. - La alfarería tradicional de Buño. Una aproximación desde la arqueología y la arqueometría. **Gallaecia**. ISSN 2445-3927. (en prensa).

LENGUAS, A. L. [et al.] - Tomografía computerizada de haz cónico. Aplicaciones clínicas en odontología; comparación con otras técnicas. **Científica Dental**. ISSN 1697-641X. Vol. 7, nº 2 (2010), p. 147-159.

LÓPEZ-POLÍN, L. [et al.] - Pleistocene human remains and conservation treatments: the case of a mandibule from Atapuerca (Spain). **Journal of Human Evolution**. ISSN 0047-2484. Vol. 54, nº 5 (2008), p. 539-545.

MARTÍNEZ, M. P. (compil.). **Estudio de la cultura material del yacimiento de A Pousada**. **Memoria Arqueológica**. 2012. Accesível no Servizo de Patrimonio. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, p. 36-70.

MAZZOLANI (ed. lit.) - **Protection of Historical Buildings: Proceedings of the International Conference on Protection of Historical Buildings, PROHITECH 09**. London: Taylor y Francis Group, 2009. ISBN 978-0-415-55804-4. Vol. 1, p. 847-851.

MENA, A. [et al.] - A novel sedimentological method based on CT-scaning: Use for tomographic characterization of the Galicia Interior Basin. **Sedimentary Geoogy**. ISSN 0037-0738. Vol. 321 (2015), pp. 123-138.

MINOZZI, S. [et al.] - An investigation of Etruscan cremations by Computed Tomography (CT). **Antiquity**. ISSN 1745-1744. Vol. 84, nº 232 (2010), p. 195-201.

MNATTERER, F.; RITMAN, E. L. - Past and future directions in x-ray computed tomography (CT). **International Journal of Imaging Systems and Technology**. ISSN 1098-1098. Vol. 12, nº 4 (2002), p. 175-187.

MNATTERER, F - Fourier reconstruction in Tomography. **Numerische Mathematik**. ISSN 0945-3245. Vol. 47, nº 3 (1985), p. 343-353.

MORIGI, M. P. [et al.] - CT investigation of two paintings on Wood tables by Gentile da Fabriano. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**. ISSN 0168-9002. Vol. 580 (2007), pp. 735-738.

NEDDEN, D. Z. [et al.] - New findings of the Tyrolean "Ice Man": Archaeological and CT-Body analysis suggests personal disaster before death. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 21, nº 6 (1994), p. 809-818.

NOBUYUKI, K. - Analytical study of paintings by X-ray Radiography and Spectroscopy. In: UDA, M.; DEMORTIER, G. y NAKAI, I. (ed. lit.). **X-rays for Archaeology**. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 978-1-4020-3580-7. p. 231-245.

O'CONNOR, S. [et al.] - Exceptional preservation of a prehistoric human brain from Heslington, Yorkshire, UK. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 38, nº 7 (2011), p. 1641-1654.

ÖZBEK, M. - Remodeled human skulls in Kösk Höyük (Neolithic age, Anatolia): a new appraisal in viev of recent discoveries. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 36, nº 2 (2009), p. 279-386.

PERNTER, P. [et al.] - Radiological proof for the Iceman`s cause of death (ca. 5`300 BP). **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 34, nº 11 (2007), p. 1784-1786.

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P. - Poder y estrategias de apropiación del espacio en las comunidades campaniformes, dos casos de estudio: el Dolmen de Forno dos Mouros y el Túmulo 3 de Alto de San Cosme. In PRIETO-MARTÍNEZ, M. P.; SALANOVA, L. (compil). **Las Comunidades Campaniformes en Galicia. Cambios sociales en el III y II Milenios BC en el NW de la Península Ibérica**. Pontevedra: Deputación de Pontevedra, 2011. ISBN 978-84-8457-365-4. Cap. 9, p. 85-94.

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P. [et al.] - Cerámica de Lujo medieval en dos castillos de la mitra compostelana. In JORNADAS INTERNACIONALES, 3ª - **Evolución de los espacios urbanos y sus territorios en el noroeste de la península ibérica**. Astorga, Casa-Museo Leopoldo Panero (Astorga, León), 21 y 22 de Abril de 2016a.

PRIETO MARTÍNEZ, M. P. [et al.] - La cerámica vidriada de A Pousada (Santiago de Compostela). In JORNADAS INTERNACIONALES, 3ª - **Evolución de los espacios urbanos y sus territorios en el noroeste de la península ibérica**. Astorga, Casa-Museo Leopoldo Panero (Astorga, León), 21 y 22 de Abril de 2016b.

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P. [et al.] - Materiales constructivos de A Rocha Branca (Padrón, A Coruña): Azulejos. In JORNADAS INTERNACIONALES, 3ª - **Evolución de los espacios urbanos y sus territorios en el noroeste de la península ibérica**. Astorga, Casa-Museo Leopoldo Panero (Astorga, León), 21 y 22 de Abril de 2016c.

PRIETO-MARTÍNEZ, M. P.; LANTES-SUÁREZ, O. Y MARTÍNEZ-CORTIZAS, A. - O Campaniforme Cordado de Forno dos Mouros (Toques, A Coruña). **Cuaderno de Estudios Gallegos**. ISSN 0210-847X. Vol. 55, nº 121 (2008), p. 31-51.

REIMERS, P. [et al.] - A. Dendrochronology by means of x-ray computed tomography (CT). In MANINATIS, Y. (ed. lit.) **Archaeometry: proceedings of the 25th International Symposium**. Amsterdam: Elsevier, 1989. ISBN 0-444-87333-3. p. 121-125.

PRIETO MARTÍNEZ, M. P. [et al.] - Una cerámica de gres de Raeren en Santiago de Compostela (NW de España). In MARTÍNEZ PEÑÍN, R. & CAVERO DOMÍNGUEZ, G. (ed. lit.) **Evolución de los espacios urbanos y sus territorios en el Noroeste del a Península Ibérica**. León: Ediciones El Forastero S.L., 2015. ISBN: 978-84-942791-8-8. p. 253-268.

RIZESCU, C. [et al.] - Complex Analysis of the "Cannon of Giurgiu" by Computerized Tomography with ^{192}Ir. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403 29, nº 3 (2002), p. 267-275.

ROSSI, M.; CASALI, F. - 3D Computed Tomography for archaeometry. In PIACENTINI, M. y SCIUTI, S. (ed. lit.). 2002. **Archaeometry in Europe in the third Millenium**. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 2002a. ISBN: 88-218-0880-07. p. 222-225.

RYE, O. S. - Pottery manufacturing techniques: X-ray studies. **Archaeometry**. ISSN 1475-4754. Vol. 19, nº 2 (1977), p. 205-211.

SEGUIN, F. H. - High-resolution computed tomography and digital radiography of archaeological and art-historical objects. In VANDIVER, P. B.; DRUZIK, J. y WHEELER, G. S. (ed. lit.). **Materials Issues in Art and Archaeology II**. ISBN 9781605112961. Pittsburgh: Materials Research Society, 1990. p. 63-73.

SHANG, H. [et al.] - Neurocranial abnormalities of the Goungwangling Homo erectus from Lantian. China. **Journal of Archaeological Science**. ISSN 0305-4403. Vol. 35, nº 9 (2008), p. 2589-2593.

SIMONOV, E. N. - Physical Problems of Medical Computer X-Ray Tomography. **Biomedical Engineering**. ISSN 0006-3398. Vol. 38, nº 4 (2004), p. 170-175.

TOUT, R. E.; GILBOY, W. B.; CLARK, A. J. - The use of computerized X-ray tomography for the non-destructive examination of archaeological objects. In **Proceedings of the 18th International Symposium on Archaeometry and Archaeological Prospection, Bonn, 14-17 March 1978**. Colonia: Rheinland-Verlag GmbH, 1980. ISBN 978-3792704295. p. 608-616.

VAINBERG, E. I.; KALINCHEV, A.; SVIRIDOVA, Z. I. - Comparing the effectiveness of radiography and x-ray computer tomography for controlling low-density ceramics. **Refractories and Industrial Ceramics**. ISSN 1083-4877. Vol. 26, nº 3-4 (1985), p. 199-202.

VENIALE, F.; SETTI, M.; LODOLA, S. - Diagnóstico del deterioro de la piedra en el patrimonio construido. Datos y perspectivas. **Materiales de Construcción**. ISSN 0465-2746. Vol. 58, nº289-290 (2008), p. 11-32.

YANG, Y. [et al.] - Application of micro-CT: a new method for stone drilling research. **Microscopy Research Technique**. ISSN 1097-0029. Vol. 72, nº 4 (2009), p. 343-346.

YANG, Y. [et al.] – Application of Micro-CT: 3D Reconstruction of Took Marks on an Ancient Stone Bead and ist implication for Jade drilling techniques. In TURBANTI-MEMMI (ed. lit.). **Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. Part 10, p. 575-578.

ipt
Instituto
Politécnico
de Tomar

cta.ipt
Centro Transdisciplinar
das Arqueologias