

01.

0 FERRO

O ferro, xunto co osíxeno, o silicio e o aluminio, é un dos catro elementos químicos máis abundantes na codia terrestre.

Aínda que o seu aproveitamento se remonta á antigüidade, este produciuse nun momento máis serodio que outros elementos metálicos como o ouro, a prata, o cobre, o estaño ou o chumbo. Isto débese a que o seu aproveitamento require duns procesos técnicos máis complexos que os necesarios para os anteriores metais, que reciben o nome de siderurxia.

Porén, unha vez que as distintas sociedades adquiriron os coñecementos necesarios para o seu procesamento, o ferro pasou a ser un recurso esencial grazas á súa abundancia e ás súas propiedades mecánicas, o que permitiu a elaboración de toda clase de obxectos.

Aínda que nun principio se pensaba que o inicio da metalurxia do ferro comezou co aproveitamento do ferro meteorítico, na actualidade a proposta máis aceptada é a de que deriva da metalurxia do cobre, cando se empregaban determinados minerais de ferro como escourificante, xa por volta do ano 5000 a. n. e. no Próximo e Medio Oriente.

02.

A UTILIDADE DO FERRO

As propiedades mecánicas do ferro, sobre todo unha vez transformado en aceiro, convérteno nun elemento ideal para a realización de todo tipo de útiles e ferramentas. Isto inclúe desde os obxectos máis cotiáns, como poden ser fouces, picos, coitelos, cravos, fibelas de cintos ou asas de caldeiro, ata a elaboración de armas, como son os puñais ou as lanzas.

Nas escavacións do castro recolléronse numerosas pezas deste metal, tanto da Idade de Ferro como de Época Romana, das que posiblemente algunhas fosen realizadas no propio castro.

03.

OS MINERAIS

Un dos aspectos que diferencia o ferro doutros metais da antigüidade é a forma en que se atopa na natureza. Mentres que o ouro, a prata ou o cobre poden ser localizados sen mineralizar, o que se coñece como *estado nativo*, o ferro só se presenta en forma mineral. O único xeito de conseguir ferro sen mineralizar na superficie terrestre consistiría no aproveitamento do ferro meteorítico, recoñecible pola elevada proporción de níquel presente na súa composición.

Os minerais consisten nunha combinación de distintos elementos, neste caso de ferro con osíxeno, formando óxidos, en distintas proporcións e mesmo con outros elementos químicos.

Os minerais de ferro máis empregados son:



Hematita (Fe₂O₃)



Magnetita (Fe₃O₄)



Limonita (FeO(OH) · nH₂O))



Goethita (FeO(OH))



Siderita (FeCO₃)



Pirita (FeS₂)

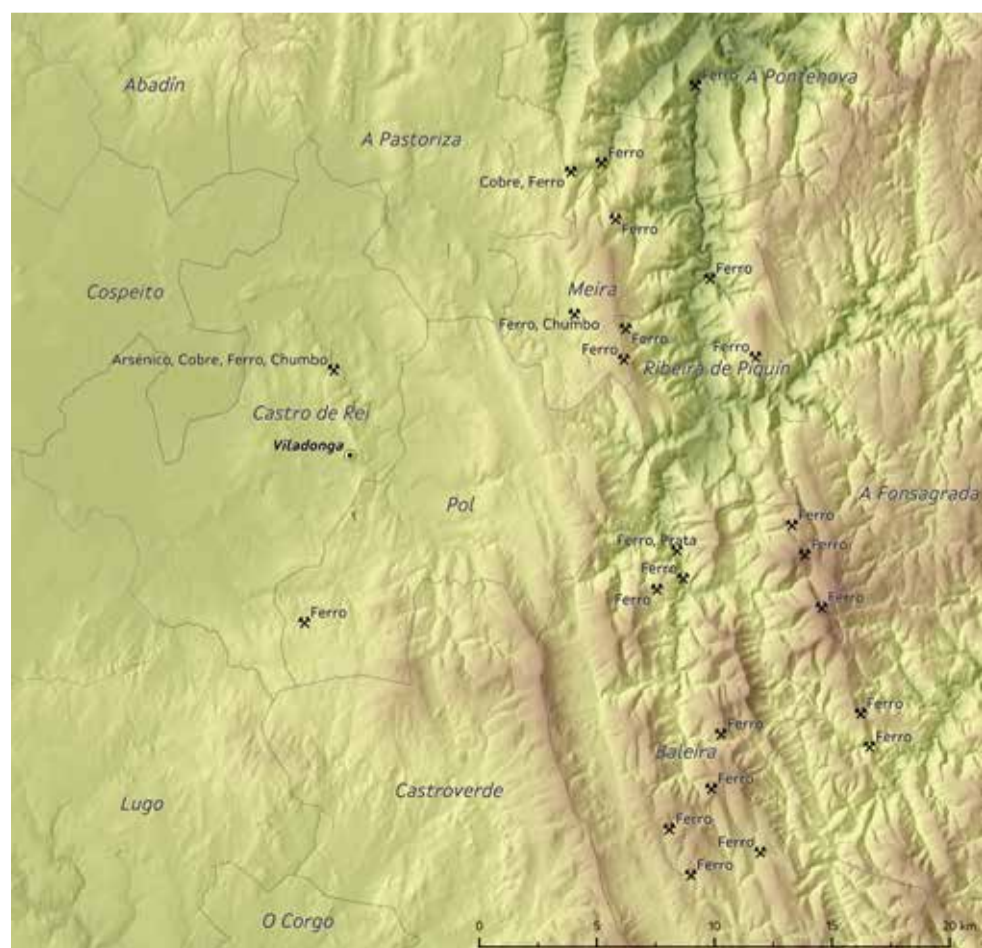
04.

LOCALIZACIÓN DOS MINERAIS

As diferentes combinacións de elementos químicos outórganlles aos minerais propiedades e características distintas, de forma que estes eran identificados na antigüidade pola súa cor, olor ou tacto. Dese xeito, os sentidos, xunto coa transmisión oral do coñecemento, tiveron un papel fundamental para o seu recoñecemento e aproveitamento.

Segundo os datos do *Instituto Geológico y Minero Español*, nun radio duns 25 km arredor do castro de Viladonga existen varios lugares con indicios destes minerais, a maior parte destes situados na serra de Meira. Con todo, isto non quere dicir que non houbo filóns dispoñibles na contorna do castro.

Indicios con minerais de ferro na contorna de Viladonga. Fonte IGME



004 / A SIDERURXIA NO CASTRO DE VILADONGA – UNHA ACHEGA DENDE A ANTIGÜIDADE

05.

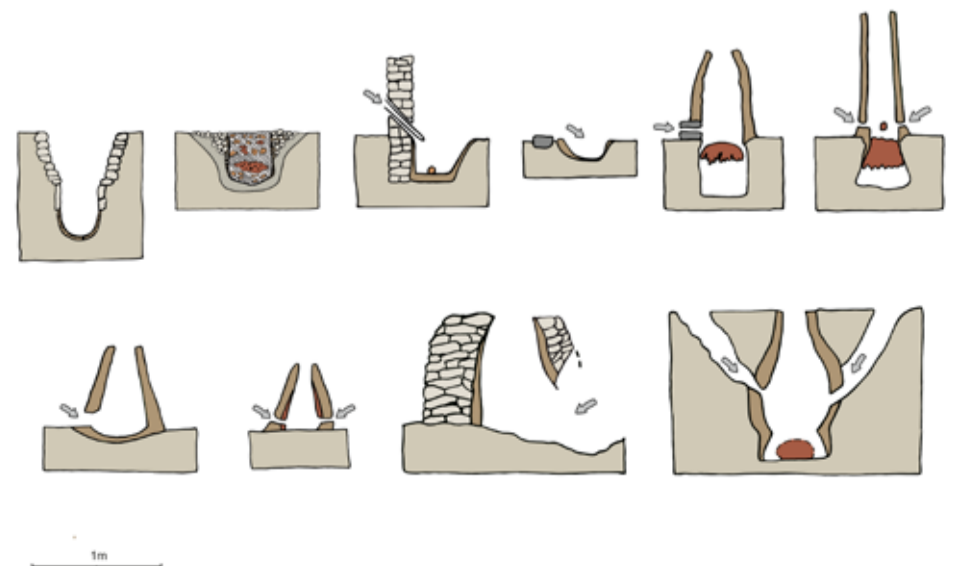
A OBTENCIÓN DO FERRO

Un dos factores que derivou nun desenvolvemento tardío da metalurxia do ferro foi o seu elevado punto de fusión, de 1538°C. Ante a dificultade para alcanzar unha temperatura tan elevada, o método para extraer o ferro do mineral é o da redución.

Aínda que existen referencias bibliográficas de casos puntuais de produción de ferro fundido con anterioridade en Europa, non será ata ben avanzada a Idade Media cando se consiga realizar o dito proceso. Con todo, isto só se refire ao caso europeo, xa que na China xa se produce ferro fundido dende o s. VI a. n. e.

005 / A SIDERURXIA NO CASTRO DE VILADONGA – UNHA ACHEGA DENDE A ANTIGÜIDADE

Diversos tipos de fornos de redución de ferro. A partir de Pleiner (2000).



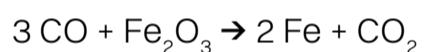
06.

COMO SE CONSEGUE?

A redución é unha reacción termoquímica, na cal se consegue obter o metal tras sometelo a unhas determinadas condicións de atmosfera e temperatura, idealmente superior a 1100 ou 1200°C mantidas no tempo. Para conseguilo é necesario introducir o mineral dentro dunha estrutura de combustión ou forno, xunto con carbón vexetal, algún fundente que facilite a formación da escoura e osíxeno.

Ademais das altas temperaturas, a combustión do carbón produce grandes cantidades de monóxido de carbono (CO), pois o osíxeno que entra ao interior é limitado e non se reparte de xeito uniforme. Este gas é moi reactivo, buscando capturar máis osíxeno que só pode conseguir extraéndoo do óxido de ferro presente no mineral. Estas reaccións varían segundo que mineral se empregue, mais o obxectivo é sempre o mesmo: conseguir ferro.

Por exemplo, se escollemos a hematita, que se compón de óxido de ferro, cando reacciona co monóxido de carbono, obtense ferro metálico por un lado e dióxido de carbono polo outro, tal e como se aprecia na fórmula seguinte:



07.

A NÓRREGA

Coa redución do mineral, o que se consegue non é a fusión do ferro, senón de toda a parte non metálica do mineral. Esta funde formando a escoura, onde se mesturan a ganga, o fundente e as cinzas, que rematan no fondo do forno, mentres que o ferro forma unha masa porosa chamada nórrega.

Esta extráese do interior do forno e debe ser traballada en quente para retirar as impurezas, e así despois poder transformala en lingotes para a súa acumulación e transporte, ou directamente elaborar útiles. Durante o seu procesamento na forxa, esta absorbe moléculas de carbono e convértese así en aceiro.

Nórregas obtidas no forno experimental.



Puñal



Folla de coitelo



Punta de lanza



Podadeira



Bastrén



Choca



Trencha



Compás



Martelo



Coitelo



Folla de tesoura



Trencha



Folla de coitelo



Fouce



Machada



Chave



AS ESCOURAS

As escouras son subprodutos asociados tanto a procesos naturais, como son as erupcións volcánicas, como a varias actividades humanas, entre as que figura a metalurxia.

Estas contan cunha serie de características que dependen de factores como o proceso *pirotécnico* que as orixinou, o mineral empregado, o combustible ou as temperaturas alcanzadas. As particularidades que nos permiten diferenciarlas de forma macroscópica poden ser a cor, a textura, o tamaño ou a densidade.

Así e todo, en moitas ocasións pode resultar complicado determinar a súa orixe, polo que é necesario analízalas arqueometricamente.

Dentro das escouras recollidas nunha escavación arqueolóxica, podemos distinguir os seguintes tipos:

Escouras de redución:

Son unha mestura de ganga, fragmentos de mineral e carbón, cinzas, algún fundente e en ocasións con anacos de barro e pedra da estrutura do forno. Poden formarse tanto no interior do forno como no exterior, logo de practicar un pequeno orificio na base da estrutura que permite a saída da escoura ao exterior en estado semilíquido e que se solidifica con rapidez, para adoptar a forma de tortas ou cordóns de superficie dura e brillante.

Escoura de sangrado do xacemento dos Escouredos, Castro de Rei.



Escouras de forxa:

Prodúcense durante a manufactura de obxectos e lingotes unha vez que a nórraga foi depurada, ao golpear o ferro cun martelo contra a bigornia. Poden ter forma de calota, por formarse no fondo da forxa, ou de láminas e escamas de pequeno tamaño que se van desprendendo do ferro durante a martelada.

Escoura de forxa con forma de calota do castro de Viladonga



Escouras de afinamento e forxa:

Fórmanse durante o procesamento para depurar a nórraga, no que se extraen os restos de escoura e carbóns atrapados no seu interior. Para isto é necesario quentar o ferro ata altas temperaturas e golpealo cun martelo contra unha superficie dura.

Escoura de forxa do castro de Viladonga.



09.

AS EVIDENCIAS NO CASTRO DE VILADONGA

Ao longo das distintas campañas de escavación realizadas no castro, documentáronse evidencias de actividade metalúrxica. A máis habitual, frecuente en moitos xacementos arqueolóxicos, é a presenza de escouras. Recolleuse un número importante, das cales algunhas destacan polo seu gran tamaño, e evidencian unha intensa actividade de forxa, tanto en cantidade como posiblemente en continuidade no tempo.

Tamén se documentou outra evidencia importante no cuadrante nordeste da croa. Ademais da presenza de escouras, en 1992 localizouse un fragmento dun bloque de pedra cunha cara completamente cuberta por unha codia de ferro e que posiblemente formou parte da estrutura dun forno ou forxa. Con todo sería necesario confirmar esta posibilidade mediante técnicas de análise en laboratorio.

Algunhas destas escouras de gran tamaño adoitan aparecer dentro do castro asociadas cos derrubamentos da muralla, polo que posiblemente fosen empregadas como material de recheo durante a súa construción. A maiores, tamén se recolleron escouras polo resto da croa que nos falan xa de procesos posteriores, como poden ser pequenos traballos de forxa.

Bloque pétreo con concreción de ferro. Escavación de 1992.



Escouras. Campaña de escavación de 1988 no castro de Viladonga.

Ø12 / A SIDERURXIA NO CASTRO DE VILADONGA – UNHA ACHEGA DENDE A ANTIGÜIDADE

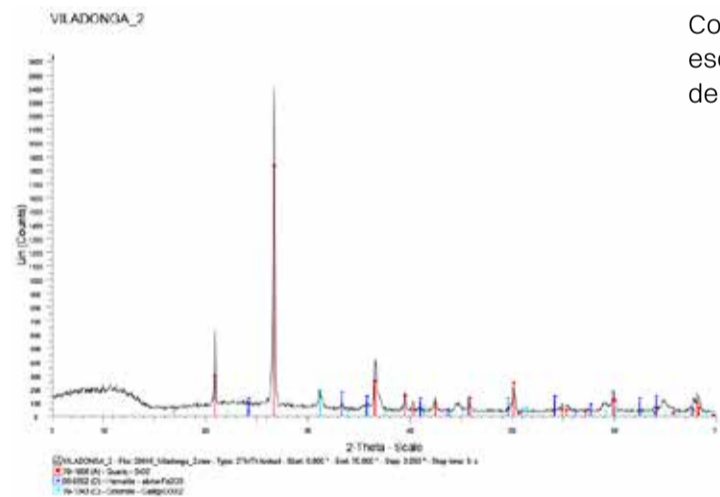
10.

AS ANÁLISES

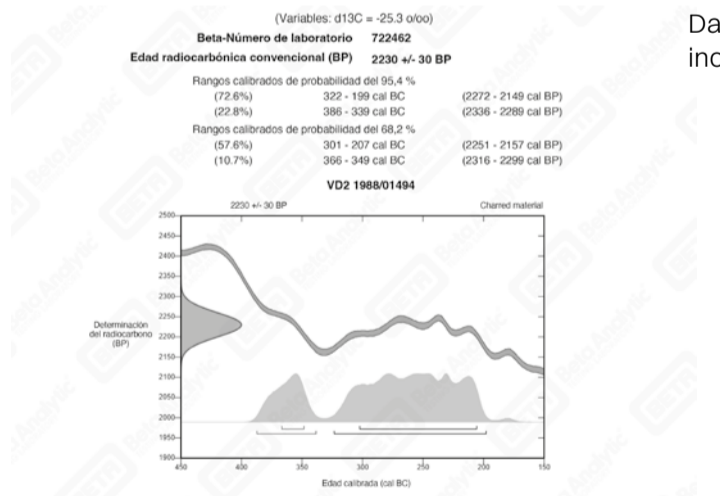
A aplicación de técnicas de análise en laboratorio permite obter información sobre cuestións como a composición e formación das escouras e mesmo, nalgúns casos, obter unha datación. Este é o caso de dúas escouras procedentes do castro que se analizaron recentemente.

A primeira análise fíxose sobre unha escoura de gran tamaño recollida durante as escavacións de 2019 e 2020. A análise da súa composición revelou que contén arredor dun 9% de óxidos de ferro, así como a presenza de natrolita e dolomita. Estes dous compostos indican que as temperaturas nas que se formou a escoura non deberon ser superiores aos 800 - 900°C, temperaturas que se alcanzan durante os traballos de forxa.

Con respecto á segunda escoura estudada, trátase dunha peza recuperada durante a escavación do sistema defensivo no ano 1988. Esta contiña un anaco de carbón que sobresaía á superficie. A partir da análise de Carbono 14, púidose obter unha datación que nos permite situar a súa formación entre o final do século IV e o III a. n. e., por tanto, a realización de traballos de forxa no castro durante ese momento.



Composición dunha escoura recollida na derruba da muralla.



Datación do carbón incrustado na escoura.



Carbón incrustado nunha escoura de forxa.

Ø13 / A SIDERURXIA NO CASTRO DE VILADONGA – UNHA ACHEGA DENDE A ANTIGÜIDADE

11.

O PAPEL DA EXPERIMENTACIÓN

A través da arqueoloxía experimental podemos contrastar hipóteses formuladas a partir das evidencias arqueolóxicas, o cal permite comprender as estratexias e os procesos técnicos implicados na formación do rexistro. Coa experimentación pódese percibir a calor, detectar cambios na cor do lume ou mesmo distintos olores derivados das reaccións químicas producidas no interior do forno e que a fin de contas, son os parámetros que se tiñan en conta antes da incorporación dos instrumentos de medición modernos. Por tanto, obtense información que, combinada coa proporcionada pola arqueometría, enriquece o coñecemento que temos sobre as sociedades do pasado.

Co fin de poder comprender mellor as evidencias recollidas nas escavacións do castro, en decembro de 2024 realizouse un experimento de redución de mineral de ferro. Isto implicou conseguir os materiais necesarios e elaborar un protocolo ou estratexia de execución.

Nesta ocasión, empregouse goethita procedente de Valdeorras, carbón vexetal e ósos a modo de escourificante. Para levar a cabo o proceso, houbo que construír un pequeno forno de tipo galo-romano con pedra local e pallabarro. Tras torrar o mineral e quecer o forno, ao longo de toda unha mañá fóronse introducindo no forno ata 11 kg de mineral, que deron como resultado 5,5 kg de ferro e escouras de sangrado no interior do forno.



Ø14 / A SIDERURXIA NO CASTRO DE VILADONGA – UNHA ACHEGA DENDE A ANTIGÜIDADE

Ø15 / A SIDERURXIA NO CASTRO DE VILADONGA – UNHA ACHEGA DENDE A ANTIGÜIDADE

Distintos momentos do proceso de redución de ferro.

12.

BIBLIOGRAFÍA

Aboal Fernández, R., Ayán Vila, X. M. e Prieto Martínez, M. P. 2003: *Arqueología en la ACEGA 2: el área arqueológica de O Peto (Vedra, A Coruña)*. CAPA Cadernos de Arqueoloxía e Patrimonio n.º 17. Laboratorio de Patrimonio, Paleoambiente e Paisaxe. Santiago de Compostela.

Arias Vilas, F. 1988-1989: *Diario de escavación*. Inédito.

Arias Vilas, F. 1992: *Diario de escavación*. Inédito.

Ayán Vila, X. M. 2021: *San Lourenzo ven a nós. Memorias dun castro galego*. Asociación de Veciños de Cereixa María Castaña. A Pobra do Brollón.

Comendador Rey, B. 2010: "Una perspectiva antropológica para la interpretación de la metalurgia". En I. Montero (Coord.): *Manual de Arqueometalurgia*. Cursos de Formación Permanente para Arqueólogos, 1. Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid y Sección de Arqueología del CDL de Madrid. Madrid: 269-300.

Fanjul Peraza, A. e Marín Suárez, C. 2006: "La metalurgia del hierro en la Asturias castreña: nuevos datos y estado de la cuestión." En *Trabajos de Prehistoria* 63, nº1, xaneiro-xuño. 113-131.

Franco Pérez, F. J. 2018: *Arqueología y paleosiderurgia prehidráulica en Bizkaia (siglos III-XIV). Tras las huellas de los antiguos ferrones*. Kobie Serie Anejo, n.º 19. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao: 3-132.

Gener Moret, M. 2010: "Tecnología de la metalurgia del hierro". En I. Montero (Coord.): *Manual de Arqueometalurgia*. Cursos de Formación Permanente para Arqueólogos, 1. Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid y Sección de Arqueología del CDL de Madrid. Madrid: 189-232.

Mohen, J. P. 1992: *Metalurgia prehistórica: introducción a la paleometalurgia*. Masso. Barcelona.

Pleiner, R. 2000: *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*. Praga. Archeologický ústav SVČR.

Renzi, M. 2010: "Vasijas de uso metalúrgico, toberas y moldes". En I. Montero (Coord.): *Manual de Arqueometalurgia*. Cursos de Formación Permanente para Arqueólogos, 1. Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid y Sección de Arqueología del CDL de Madrid. Madrid: 123-158.

Rovira, S. e Renzi, M. 2010: "Las operaciones pirometalúrgicas y sus subproductos". En I. Montero (Coord.): *Manual de Arqueometalurgia*. Cursos de Formación Permanente para Arqueólogos, 1. Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid y Sección de Arqueología del CDL de Madrid. Madrid: 87-122.

Tylecote, R. F. 1976: *A history of metallurgy*. Segunda edición. Metals Society. London.