

FORNOS NAS REDUÇÕES MISSIONEIRAS

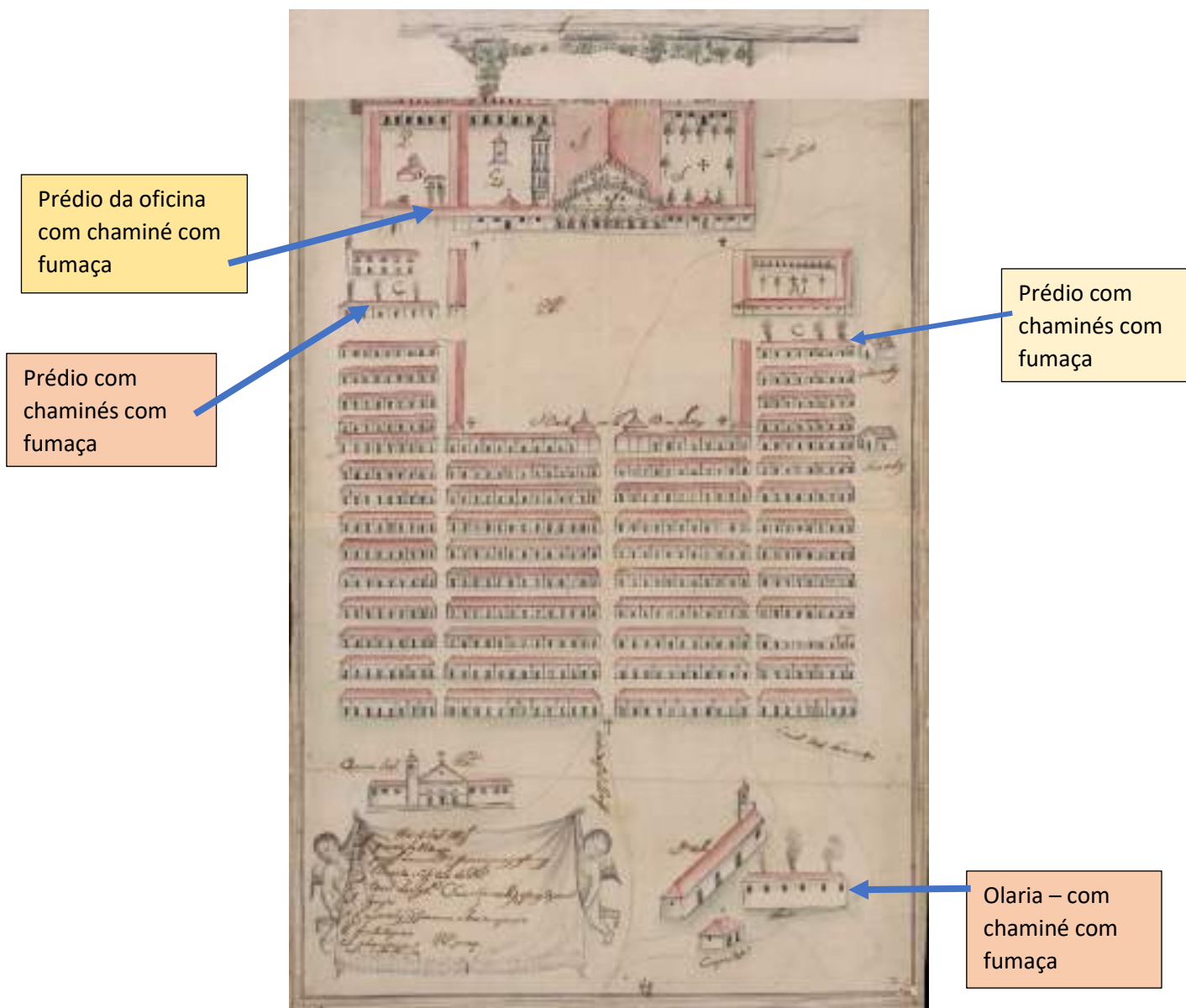
Alvaro Medeiros de Farias Theisen
GRANDE PROJETO MISSÕES – Maio 2021

Fornos nas Reduções

Haviam vários fornos em uma Redução dependendo da sua utilização tinha características diferentes e estavam localizadas em lugares específicos. Os fornos em São João eram os seguintes:

- Fornos para tijolos e ladrilhos
- Fornos para telhas
- Fornos para padaria
- Forjas para metais
- Alto-forno

Obviamente as forjas para metais ficavam localizadas no pátio das oficinas onde eram desenvolvidos os equipamentos necessários para o cotidiano das atividades e os materiais para as construções, além das ferramentas utilizadas na própria oficina, lembrando que ali se produziam instrumentos musicais, carretas e teares.

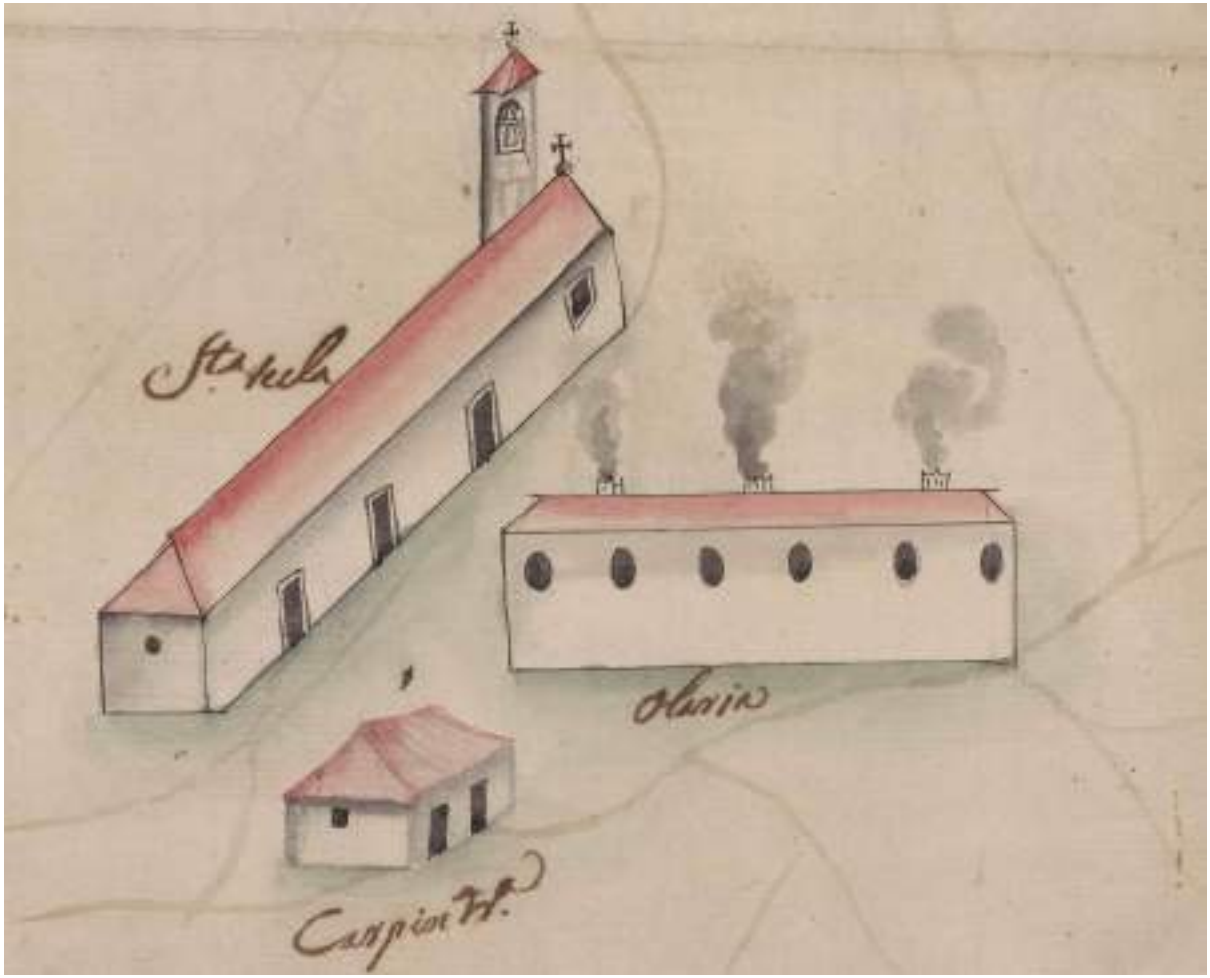


Forno para material cerâmico (tijolos, telhas e ladrilhos/pisos)

Fornos para produzir os materiais de construção utilizados na edificação do Povoamento.

Tinham 60 oleiros (ver pagina 239)

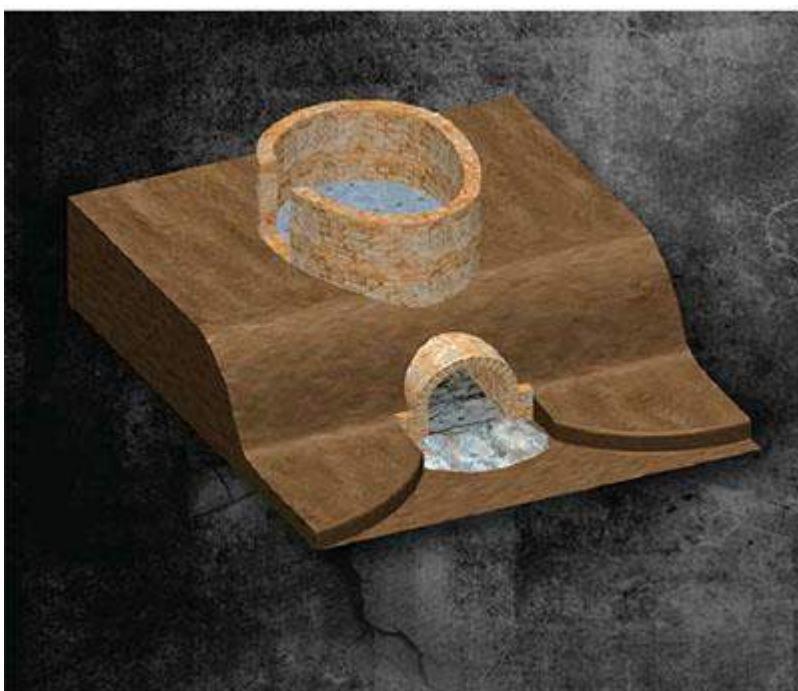
“(…) E este o aspecto externo da minha igreja. Subamos agora ao telhado. Onde arranjar as telhas para cobri-lo? Onde o forno para cozer os tijolos? Seja louvado o Deus misericordioso! Vêde a Divina Providência! Junto ao sopé da colina em que assentei o aldeamento, encontrei ótimo barro ou argila, resistente, pegajosa e muito apropriada para cozer tijolos. No espaço de quatro meses cozi mais de cem mil. Com eles pude cobrir a igreja e minha casa canônica, junto com o alpendre, construído em quadrado. Para o cozimento de tijolos e telhas fez-se mister abrir enormes covas, nas quais construí três fornos com capacidade de cerca de quatro mil telhas cada um., e como disse, construí-os em número de três, para que, enquanto se enchesse em telhas não cozidas um forno, no outro já houvesse fogo e no terceiro se pudesse retirar as prontas. Deste modo não se interrompia o fabrico de telhas.” (SEPP, 1972, p. 226; SEPP, 1980, pg. 238).





Forno nos Açores





Fornos para metais

Na primeira metade do século XVII víamos o desenvolvimento de dois tipos de fornos nos povoados missioneiros e com estes a produção de certos tipos de artefatos.

Os fornos pequenos (forja-de-fiar-ferro, forja de lupa e forja catalã) foram utilizados desde o início da conquista europeia nas Américas, a exemplo do armeiro de Cortês que produzia armamentos com uma forja-de-fiar-ferro.

Os fornos pequenos possibilitaram a conversão de barras de ferro fundido e lingotes em artefatos, bem como a fusão parcial de ligas de metal que não necessitassem uma maior temperatura (máxima de 800 graus Celsius).

Estes fornos possibilitaram a produção de implementos de simples conformação não necessitando grandes trabalhos. A forja catalã foi amplamente utilizada e até desenvolvida nas Missões de Guairá (1610 a 1631) e a forja-de-fiar-ferro foi utilizada pelo padre Diaz Taño nas Missões do tape (1626 a 1635) e nas explorações de estanho, por um irmão coadjutor, nas Missões do Itatim (1631 a 1643). Estes fornos propiciavam uma fusão de metais através do aquecimento e martelagem produzindo até o “ferro doce”.

Os minerais usados nestas forjas eram provenientes de barras de ferro trazidas da Europa.

O forno catalão, mais utilizado no Guairá, melhoramento da forja catalã de origem romana, tem uma forma simples onde o mineral é misturado ao carvão vegetal, aquecido pelos foles, e a massa que se forma é constantemente batida para melhorar a mistura e a separação de impurezas.

Na região de Guairá e provavelmente em alguns outros povoados espanhóis da época (século XVII) o uso das forjas e do forno catalão propiciaram o seu desenvolvimento, ou mesmo beneficiaram a entrada dos fornos médios, os fornos “castellanos”.

O forno castellano possibilitou uma produção de artefatos maiores tais como os sinos.

Os fornos castellanos apresentavam uma abertura por onde o metal fundido saia, sendo que as vezes esta poderia eventualmente permanecer fechada. Tinha a forma de um pilar quadrado mais largo que alto (pela parte oca), medindo um ou duas varas (uma vara é igual a 0,83m), dependendo do tamanho dos foles ou da dureza dos metais a serem fundidos, pela parte de trás do forno eram instalados os foles de maneira transversal para que a escória não fechasse a entrada de ar. O solo do forno era feito de duas partes de carvão moído e uma parte de terra, socados. Na parte da frente do forno existiam pequenos furos para a vazão das escórias e uma abertura para o material fluido (em diferentes alturas pois o ferro é mais pesado que a escória).

A vinda do Padre Sepp para as Missões modificaria por completo a história da metalurgia americana, sendo que teria início a produção de ferro em escala industrial.

O forno construído pelo padre Sepp na missão de São João Batista era de origem germânica, fruto do melhoramento do “Stuckofen” (forno de adobe alemão). Este forno era um alto-forno, podendo produzir metais para a confecção de armas de fogo e mesmo canhões.

As paredes laterais desse forno tinham uma altura razoável (estima-se em 2,4 a 3 metros), para poder suportar o carvão e o mineral de ferro em altas temperaturas, e uma chaminé de 30 cm de largura. Pela chaminé era colocado uma parte de mineral por seis partes de carvão vegetal. O mineral era seco por torrefação antes de ser triturado e levado ao forno. No forno o mineral aquecido lentamente separava-se da escória, formando uma massa fluída e

incandescente. Após 24 horas de queima, a escória era escorrida por orifícios superiores e o metal era retirado com ganchos pelos fundidores, por uma abertura, existente para tanto, provavelmente vedada com argila, depositada em uma superfície de areia em forma de canais e transformado em lingotes. Estes lingotes eram levados às forjas para serem transformados em artefatos úteis.

Os minerais utilizados para o alto-forno de São João eram conseguidos em minas próximas pois o “itacuru” – basalto vesicular ferroso, abunda na região.

Tipos de fornos

1. Forja de fiar ferro
2. Forja Catalã
3. Forno castellano produção de sinos
4. Forno germânico (stuckofen) / alto forno

Forja pode se referir ao **forno** utilizado para aquecer os metais a serem trabalhados por um **ferreiro**^[1], ao conjunto de instrumentos utilizados pelo ferreiro^{[2][3]}, à **oficina** em que metais são forjados por um ferreiro^{[4][5]}, ao local aonde metais são **fundidos** e moldados^[2], ou mesmo aos próprios processos de **redução direta** do **minério de ferro** e **forjamento** de peças metálicas^{[6][7][8]}.

O processo de forjamento por meio da forja ainda se parece com aquele consagrado na **Idade Média**^[9], segundo o qual o metal deve ser aquecido, martelado sobre uma bigorna e, ao fim, **temperado** em líquido.

O processo de redução do minério de ferro, tanto na forma direta ou **indireta**, emprega fornos que podem ser chamados de forjas. Entretanto, o termo forja está mais associado ao processo de redução direta, cuja etapa de **refino** é realizada unicamente por forjamento^[10].

Etimologia

O termo *forja* vem do **francês antigo** *forge*, forma derivada de *faverge*, que remete ao lugar onde se trabalha o metal^{[11][12]}. Por sua vez, o termo *faverge* provém do **latim** *fabrica*^{[11][12]}, que tanto pode se referir a “oficina”^[13], quanto a “ofício” ou “arte”^[14].

Sua estrutura é normalmente construída em **material refratário** e inclui um **algaraviz** por onde passa o ar soprado por um **insuflador**, como um **fole** ou um **ventilador**^{[20][21]}. Contudo, no passado, não era raro que forjas a carvão fossem construídas com pedras comuns ligadas por barro, ante a indisponibilidade de material refratário adequado.^[15]

História

Todo o ferro primitivo seria hoje em dia classificado como ferro forjado. O método de obtê-lo "consistia em abrir um buraco em uma encosta, forrá-lo com pedras, enchê-lo com minério de ferro e madeira ou carvão vegetal e atear fogo ao combustível. Uma vez queimado todo o combustível, era encontrada uma massa porosa, pedregosa e brilhante entre as cinzas. Essa massa era colhida e

batida a martelo, o que tornava o ferro compacto e expulsava as impurezas em uma chuva de fagulhas. O tarugo acabado, chamado 'lupa', tinha aproximadamente o tamanho de uma batata doce das grandes.

"Com o tempo, o homem aprendeu como tornar o fogo mais quente soprando-o com um fole e a construir um forno permanente de tijolos em vez de meramente fazer um buraco no chão. O aço era feito pela fusão do minério de ferro com um grande excesso de carvão vegetal ou juntando ferro maleável e carvão vegetal e cozinhando o conjunto durante vários dias, até que o ferro absorvesse carvão suficiente para se transformar em aço. Como esse processo era dispendioso e incerto e os fundidores nada sabiam da química do metal com que trabalhavam, o aço permaneceu por muitos anos um metal escasso e dispendioso. Só tinha emprego em coisas de importância vital como as lâminas das espadas.

"Entre os outros aperfeiçoamentos estavam o acréscimo de um fundente, como a pedra calcária, à mistura de minério e carvão, para absorver as impurezas do minério, a invenção das tenazes e marretas para trabalhar os tarugos de metal e a têmpera dos objetos de metal pelo seu aquecimento até à temperatura adequada com o esfriamento subsequente pelo mergulho na água." (5)

Desde o início da metalurgia, tem-se buscado também a maneira pela qual os fornos pudessem alcançar temperaturas cada vez elevadas, pois, para que se possa retirar o ferro do minério, de forma que fosse possível o aproveitamento de todo metal nele existente, a temperatura do forno deve se elevar além de 1535°C, ponto de fusão daquele metal.

Contudo, os primeiros fornos empregados para a redução com a utilização de carvão vegetal, alcançavam apenas temperaturas que variavam entre 1.200°C e 1.300°C, insuficientes para a fusão completa e, portanto, o ferro obtido, com aquela temperatura, não era retirado do forno em estado líquido e sim em estado pastoso. A essa temperatura (1200/1300° C), o minério de ferro transformava-se em uma "massa esponjosa", repleta de impurezas (escórias que ainda apresentavam uma significativa quantidade de ferro na sua composição). Essa massa era então, colocada sobre uma bigorna e, por meio de martelamento manual ou mecânico, retiravam-se as escórias que ainda permaneciam grudadas naquela massa, compactando-a e dando forma ao metal.

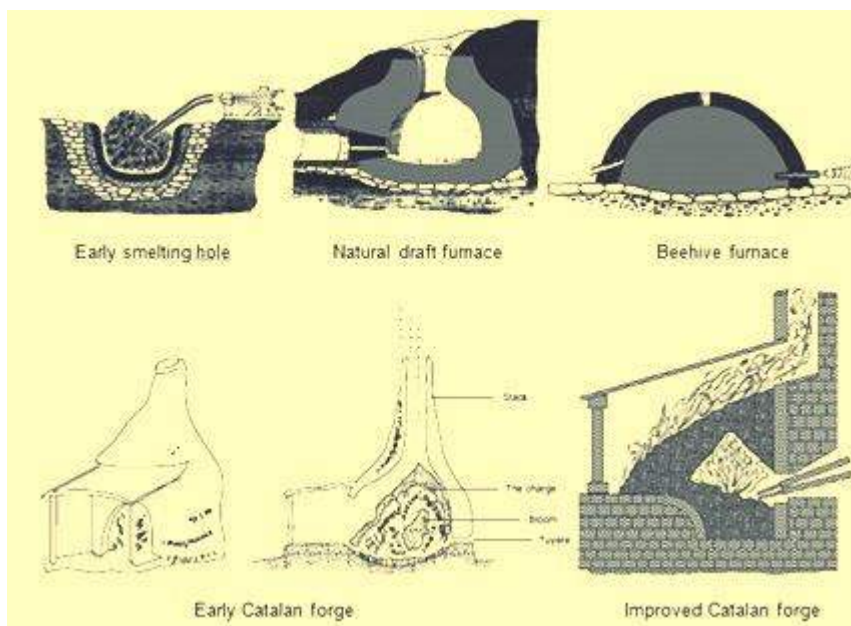
Labouriau, ao explicar a ação do carvão vegetal durante o processo de redução explica que, o carvão vegetal em contato com o oxigênio da atmosfera, queima produzindo calor, formando o gás carbônico (CO e CO²). Esse CO², então ao reagir com uma parte do carvão passa para CO. e que esse CO, juntamente

com uma parte do carvão, retira o oxigênio do minério, e fica o ferro ligado a um pouco de Carbono” (LABOURIAU, 1928, p. 146).

Essa técnica de produção de ferro ficou conhecida como “processo Direto” ou “método de redução direta” e o ferro produzido era o “ferro doce”. Até o século XV, com o aparecimento do alto-forno, esta era a única técnica conhecida e empregada na produção daquele metal. No alto-forno, o ferro atingia temperaturas mais elevadas possibilitando uma maior absorção de carbono do carvão vegetal transformando-se em gusa (ferro-gusa ou ferro fundido), que saía do forno no estado líquido incandescente²⁵. No século XVI o alto forno foi aperfeiçoado na Alemanha e na Áustria com o aparecimento do Stueckofen (alto-forno) construídos de alvenaria.

Com a utilização do alto-forno e com a obtenção do ferro em sua forma líquida foram possíveis as produções de armas de fogo, balas de canhão, sinos de igreja e mais tarde, a fabricação de adornos para as residências, tais como grades, enfim produtos que puderam ser produzidos a partir do ferro líquido deitado em moldes.

Fornos de fundição de ferro



Segundo Jordi Maluquer Motes, no início da metalurgia, utilizavam-se pequenos fornos (fornos baixos) para extração do metal (ferro), os quais não

eram mais que uma cavidade cilíndrica escavada no terreno ou em uma rocha. Contudo, a forma e o tamanho dos fornos foram mudando ao longo do tempo, e, de simples cavidades escavadas no chão, os fornos começaram a ganhar, ao redor daquele círculo, paredes de argila refratária o que permitia fazer fornadas maiores, aumentando assim a produção. Contudo, todos eles, até o advento do alto-forno, produziam, por meio da redução direta, o ferro em estado pastoso. O produto (ferro) que ficava no interior do forno após a fundição do minério era chamado de massa de ferro, pão de ferro ou lupa (MALUQUER DE MOTES,1983, p.21).

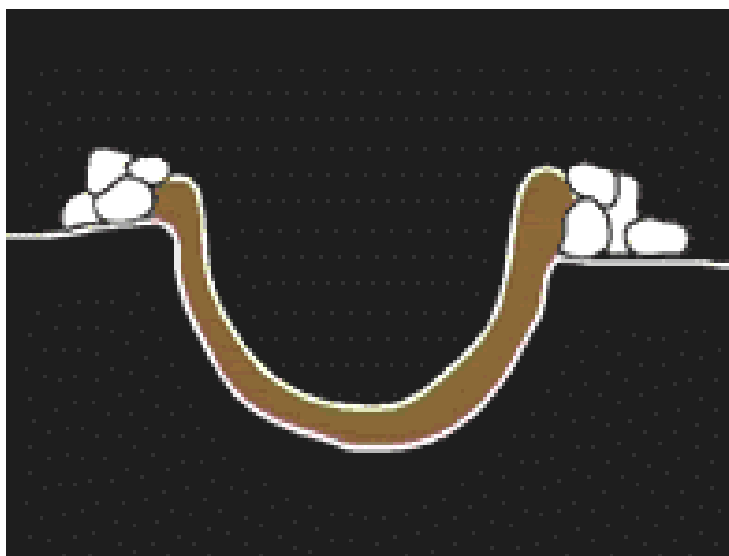


Fig 15 CORTE ESQUEMÁTICO DE UM FORNO DE FUNDIÇÃO – Forno baixo²⁶

Não há descrições detalhadas acerca desses fornos primitivos, mas vestígios encontrados em várias partes da Europa, como em Illasheim (Alemanha) indicam que estes fornos apresentavam uma planta circular. No centro da Europa, outros fornos construídos pelos Celtas também apresentavam reduzidas dimensões. Os fornos Celtas tinham, em média, 35 a 50 cm de diâmetro com uma profundidade de 45 a 50 cm. Sobre uma base levantavam o forno propriamente dito, construído por uma parede cilíndrica de argila medindo entre 60 a 100cm. Os Celtas chegaram a desenvolver técnicas eficientes de aceramento (conversão do ferro em aço) como, por exemplo, na Suíça onde a produção de espadas ganhou fama por sua resistência (FAUS, 2000, p. 32-34).

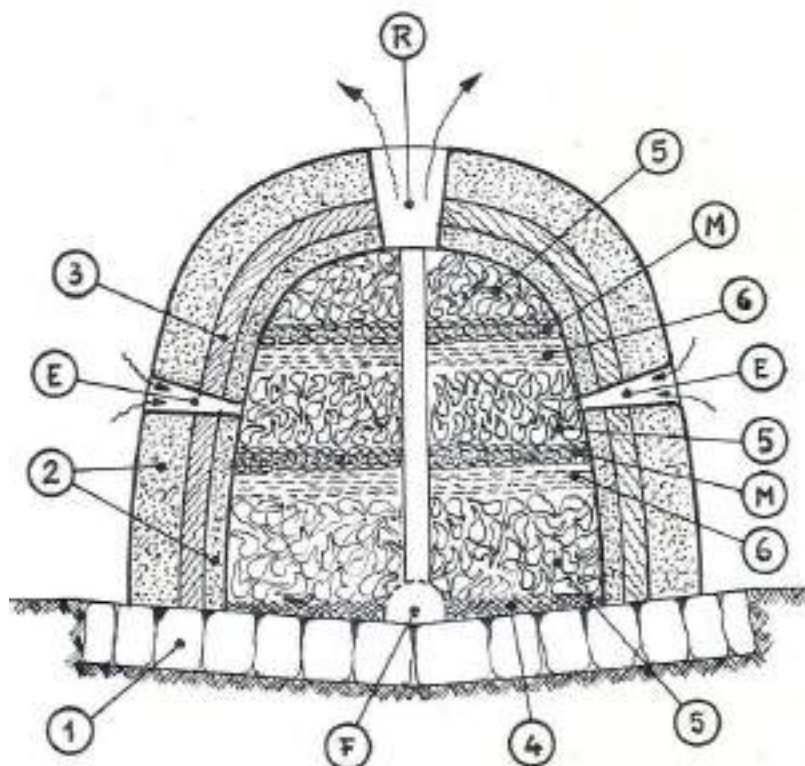
Fornos rústicos também foram encontrados em Bengala, África, denominados de fornos africanos ou fornos índios. Eram fornos cilíndricos confeccionados em

areia ferruginosa mal amassada, sustentada por uma armadura de bambu. Tinham dimensões de 0,90m de altura com um diâmetro de 0,30m. A base do forno era furada em vários lugares e colocava-se um fole em cada uma das aberturas, exceto na grade da frente (orifício pelo qual eram retiradas as escórias), o que dava em geral um total de sete foles por forno.(FAUS, 2000 p. 50).



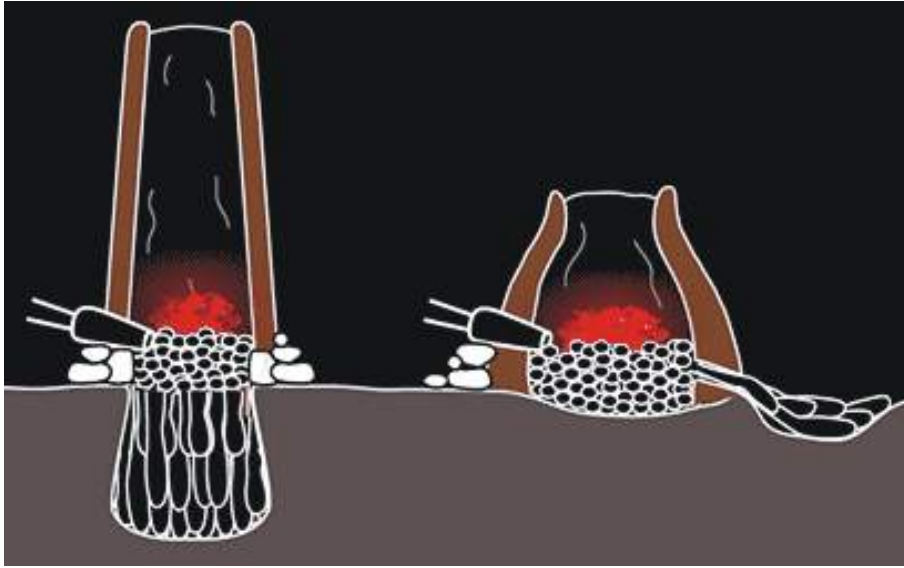
Fig. 16 MAQUETE: FORNO CELTA – forno baixo²⁷

Durante o período de dominação romana, Roma passou a controlar toda a exploração do ouro, prata e ferro, produzidos em seu império. Para a produção desse último metal, empregavam técnicas de fundição utilizando-se dos chamados fornos romanos. As ferrarias romanas eram constituídas de “um montão de fornos” construídos com barro e palha. (RODRIGUES, 1964, p.11).

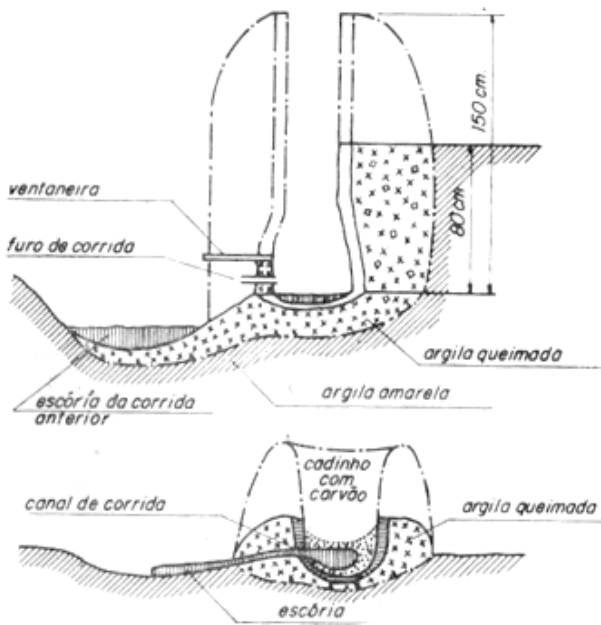


RECONSTITUIÇÃO HIPOTÉTICA DE FORNO
ROMANO DO CARVALHAL - MONCORVO

Neste mesmo período, homens bascos, dos redutos resistentes à dominação romana, continuaram a produzir o ferro por métodos de fundição que haviam aprendido com seus ancestrais, utilizando os chamados “fornos de vento”, os quais podem ser relacionados à primeira fase da elaboração do ferro. As instalações que utilizavam esses fornos passaram a ser conhecida como ferrarias secas, de montanha, de vento. Habitualmente, os fornos dessas ferrarias eram construídos em áreas montanhosas, em pontos elevados a fim de aproveitar a força dos ventos para ativar a combustão do carvão vegetal (FAUS, 2000, p. 47).



Fornos de vento ou de lupa



Forno de lupa – corte esquemático

Para Jordi Maluquer de Motes, a maior dificuldade de operação da combustão, era o controle das temperaturas do forno, sendo que o grande segredo para a utilização desses fornos de vento era a adequada posição em que este era instalado e também a correta utilização dos meios artificiais empregados na ativação da combustão do carvão vegetal, tal como o emprego de foles manuais feitos de peles de animais. Esse procedimento requeria um esforço bastante grande de trabalho humano não apenas no acionamento do fole como também para as operações de martelamento da massa de ferro que se formavam no interior do forno (MALUQUER DE MOTES, 1983, p. 21).

Por utilizarem esta técnica de redução, as ferrarias de vento, geralmente, ficavam instaladas em regiões distantes dos povoados, o que também levava um significativo número de fundidores e mineiros a passar parte de suas vidas distantes daqueles povoados. Esse distanciamento suscitou até mesmo o surgimento de mitos e fábulas, conforme aponta Elena Faus (2000), que enriqueceram a cultura popular europeia, em especial a cultura basca.

Las maravillas del arte de aquellos seres, tan solo por ellos conocidos, les hizo mecedores de leyendas. Muchas de ellas les han sobrevivido y han pasado a integrar el bagaje mitológico de la cultura vasca.

El velo de magia que enturbiaba la figura de los ferrones se tiene en ocasiones de un cierto cariz de condena religiosa. Se les identifica con los 'gentiles' reacios a la evangelización, o con el propio demonio ('señor de los bosques' o 'basejaun') en persona (FAUS, 2000, p. 47).

Outros tipos de fornos de vento ou de montanha foram encontrados na América Espanhola. Em Potosi, na atual Bolívia, os indígenas utilizavam um tipo de forno para a fabricação da prata, denominado de "forno de guaira". Estes fornos, mesmo após a conquista espanhola em Potosí, foram aproveitados para a produção daquele metal (BARGALLÓ, 1955, p. 91).



Fig. 20 FORNO DE GUAIRA – utilizado em Potosi, Bolívia²⁹

Além desses fornos de montanha, que utilizavam a corrente de ar da própria atmosfera para acionar a combustão do carvão, havia também outros tipos de fornos de fundição acionados com o emprego de foles manuais. Esses fornos ficaram conhecidos por várias denominações e podiam ser construídos de formas e tamanhos diferentes. Contudo, todos eles apresentavam as mesmas características técnicas: eram fornos baixos acionados por foles manuais e que produziam o ferro utilizando o método direto de fundição. Entre esses fornos destacam os fornos de cuba, de lupa, de manga e castelhanos (BARGALLÓ, 1955, p. 91).



Fig. 21 Forno de Fundição, xilogravura de George Agrícola, séc. XVI³⁰



Fig. 22 Forno de Fundição, xilogravura de George Agrícola, séc. XVI³¹

³⁰ Disponível em <technology.infomine.com/.../drm/book11.htm>. Acesso em 17.nov.06

Tratados Técnicos publicados no século XVI, como o *De re metallica* de George Agrícola oferecerem descrições e desenhos, através dos quais, é possível conhecer algumas formas daqueles fornos. A partir de algumas gravuras ali publicadas é possível identificar que os mesmos, habitualmente, eram construídos sobre uma base quadrada e eram utilizados na produção de muitos metais como o cobre, o ouro, prata e também o ferro. Esses fornos, registrados por Agrícola, eram especialmente destinados para a fundição de minerais em pedra. Na América Espanhola receberam o nome de “fornos castelhanos”.

Um outro autor a abordar esse tema, foi Álvaro Alonso Barba. No seu tratado *Arte de los Metales*, afirmava que os fornos castelhanos eram utilizados também em outras partes do mundo. A descrição que faz Barba do uso desses fornos no Peru é por si só bastante didática para compreender o seu funcionamento:

Llaman en este reyno hornos castellanos a los que en las otras três partes del mundo, han sido usados, y comunes para la fabricación de toda suerte de metales. De ellos solos trata el Agrícola para este efecto, y es una la fábrica de todos, y nodifieren en mas que en se mayores, o menores, y tener la boca por onde el metal fundido sale, ó abierta siempre, ó cerrada a ratos, como se dirá adelante. Levántense estos hornos a perpendicular, en forma de un pilar quadrado algo más largo, que anchos por lo hueco. Tienen de alto algunos una vara, otros casi dos, y otros menos, según la grandeza de los fuelles con que huviere de fundirse, y la facilidad, ó dureza de los metales requiere. Por la parte de atrás en una ventanilla, que para esto se dexa en la pared, algo levantada del suelo, se afixa el alchrebiz en que han de estar los cañones de fuelle, puesto con advertência de que no asome, ó passe á lo hueco del horno; porque las escorias, que sobre él cayeren, helándose con el ayre del sopro, no lo paten, ó impidan. El suelo del

horno se hace de dos partes de carbon molido, y una de tierra buena, bien apretado con pisón. Assientase pendiente azia la parte delantera, donde tendrá un agujero por onde corra el metal fundido y salgan las escorias á una hordilla, que junto á el estará bien caliente, con carbones encendidos con a llama del horno, y aire del fuelle, que sale por el dicho agujero.

Otros hacen estos hornos redondos, mas anchos de arriba que de abajo, y son menores para lo que se pretende; con que se tenga advertência, que siempre este a perpendicular la pared se pone el fuelle, porque el metal fundido, o las escorias no caygan sobre la boca del alchrebiz, y la tanpen” (BARBA, 1640 Apud BARGALLÓ, 1955, p. 93).

Entre os séculos XII e XVI a técnica de fundição do ferro experimentou um notável impulso em razão da demanda por derivados de ferro, incrementada tanto pelas guerras que necessitavam de ferragens para as montarias, apetrechos defensivos para os soldados e armas mortíferas, como por instrumentos para a agricultura. Também para a construção das grandes catedrais era necessário ferro para as armações metálicas, cravos, ferramentas, entre outros (FAUS, 2000, p.52).

Para atender a estas demandas era necessário que se produzisse a maior quantidade possível de ferro e os fornos baixos, que eram anteriormente utilizados, não atendiam aqueles objetivos. Para tanto, não apenas os fornos foram tomando outras formas, como também houve uma mecanização, por meio da utilização da energia hidráulica (rodas d' água verticais) e da trompa hidráulica no processo produtivo, tornando obsoletas as ferrarias que utilizavam a força humana e animal para a produção.

A aplicação desse mecanismo (roda d'água) ao processo produtivo, fez com que as ferrarias, que anteriormente ficavam concentradas no alto de montanhas, fossem trasladadas para as margens de rios, buscando a energia hidráulica capaz de acionar, primeiramente dos foles, possibilitando a construção de fornos de maiores dimensões e, dessa maneira, a produção do

ferro em maior escala.

Depois dos foles, a roda d'água foi utilizada para a mecanização do acionamento dos malhos (grandes martelos responsáveis por liberarem as escórias das massas de ferro dando-lhes formas que pudessem ser comercializáveis, como o ferro em barra). A função da trompa era a mesma dos foles, isto é, insuflar ar ao interior do forno para que a combustão alcançasse uma temperatura elevada. A trompa era um engenhoso sistema de insuflar ar e também o elemento mais característico do procedimento conhecido como da "farga catalã" ou forno catalão.

O primeiro emprego da roda d'água vertical na produção de ferro foi introduzido na região correspondente aos Pirineus Catalães. Neste local desenvolveu-se uma instalação destinada a produzir ferro denominado de "fábriques ou fábregues" que, depois, passou a ser conhecida como "fargues" ou "farga" (o termo era usado tanto para descrever os lugares onde era obtido o ferro como seu processamento). A partir do século XIV, o emprego da roda foi difundido na região basca – Espanha, favorecida pelos três elementos fundamentais necessários para a sua instalação: a geografia da região formada por um território montanhoso, com a presença de um significativo número de rios; as jazidas de ferro e a floresta que fornecia o carvão vegetal, o único combustível utilizado naquele processo até o século XVIII³².

Na Catalunha, junto com o desenvolvimento das "fargas", aprimoraram-se tanto as técnicas relacionadas à construção dos fornos como ao seu sistema de funcionamento, que ficou famoso no mundo todo como procedimento da "forja Catalã" ou "procedimento catalão" (MOLERA; BARRUECO.1983 p.11).

A forja Catalã ou forno catalão foi um sistema intermediário entre os fornos baixo e os altos fornos utilizados atualmente. Essa técnica dominou todo o processo de obtenção do ferro e aço durante a Idade Média, espalhando-se para a Alemanha, Áustria, Inglaterra, França e Itália. Desde a Idade Média até finais do século XIX esses países, entre outros, conseguiam

produzir ferro mediante aquele sistema conhecido universalmente como “procedimento Catalão”.

O período áureo do emprego da forja catalã se dá entre os séculos XVII e XVIII, devido, sobretudo, à introdução de um outro mecanismo em substituição aos foles acionados pela roda hidráulica: a “trompa de água” (sistema empregado para injetar ar no forno). Desenvolvido na Itália, este novo equipamento se difunde pelas regiões dos Pirineus da península Ibérica e foi assimilado pelas manufaturas catalãs até o ponto de integrá-las como uma das características do método que leva o nome de “farga catalana” ou forno catalão. Já, nas ferrarias bascas, a trompa de água, não foi amplamente difundida, prevalecendo a utilização de rodas d’água para o acionamento de foles e do malho (MALUQUERDE MOTES, 1983, p. 23).

No interior das “fargas catalanas”, o forno era a parte mais importante. Os fornos de fundição catalães, diferentemente dos fornos de vento, tinham uma forma tronco-cônica, isto é “uma forma de um tronco de pirâmide invertida” (MALUQUER DE MOTES, 1983, p. 22). O forno era construído de pedras refratárias revestidas, em parte, de peças de ferro, com três paredes planas e uma convexa, esta última destinada a facilitar a extração do produto final (massa). A parede onde era colocada a “tovera” (entrada do fole) era oposta à convexa e esta era feita de ferro numa inclinação de 35° a 45°. Em uma das paredes laterais havia um buraco que deixava passar as escórias líquidas. (MOLERA, BARRUECO. 1983 p.13).

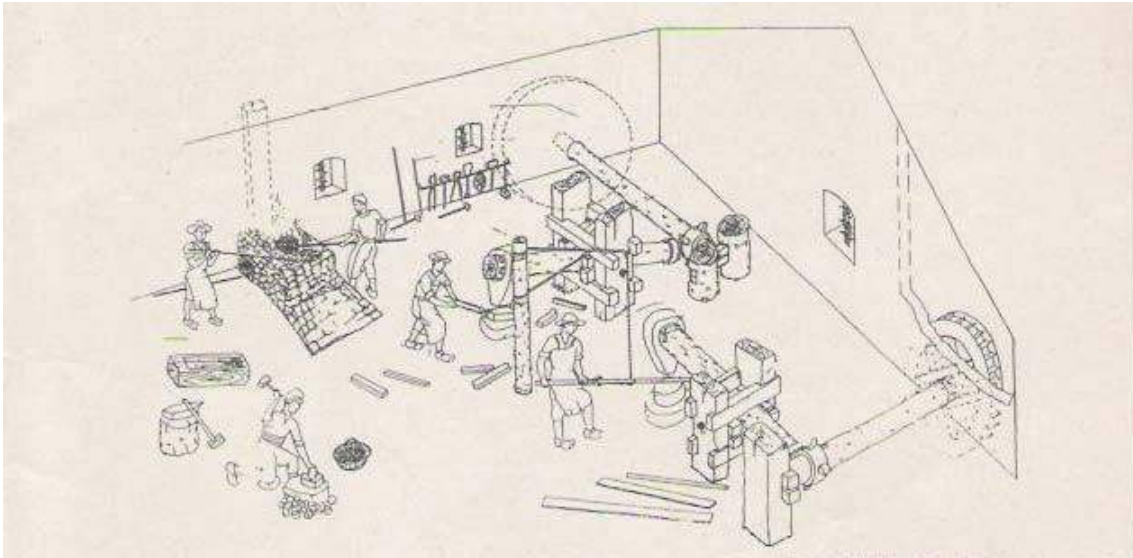


Fig 24 ELEMENTOS QUE COMPÕEM A OFICINA DA “FARGA CATALANA”.

Observa-se a presença do forno de fundição e do malhos acionados por roda d'água³⁴.

Um outro aprimoramento técnico do método catalão foi a forma como passaram a carregar o forno. Deixando para trás o método anteriormente conhecido que consistia em carregar o forno em camadas horizontais superpostas com carvão vegetal e minério, os catalães passaram a carregar o forno por meio de duas camadas verticais justapostas. De um lado do forno (aquele em que estava instalado o fole) era colocado o combustível (carvão) de tal maneira que o óxido de carbono que se desprendia da queima era forçado a atravessar a coluna do minério (que estava disposta em uma outra coluna localizada junto à parede oposta à do fole).

A produção do ferro, ainda se realizava por meio do método de produção direta. Sendo assim, ainda se mantinha o processo de martelamento da massa de ferro por meio do malho (que também ficava instalado dentro daquele estabelecimento) para a obtenção do produto final. O método catalão não apenas melhorou a qualidade do produto final, mas também proporcionou o aumento da produção.

Tipos de Forja



Forno de Lupa.

Forno de Lupa

O forno de lupa é o mais antigo modelo de forja utilizado na redução direta do minério de ferro^[8]. Esses fornos eram construídos em pedra ou barro^{[31][32]} sobre um buraco retangular, circular ou semi-circular cavado na terra, com algaravizes laterais feitos de argila^{[33][34]}, para entrada do ar pela força do vento^[8], abano ou insuflador^[10], no qual eram depositados minério de ferro e carvão vegetal.^[35]

Ao longo do tempo, autores atribuíram denominações diversas a este tipo de forja: "fornos primitivos", "fornos rústicos", "baixos-fornos", "fornos de cadinho", "fornos de galícia", e, inadequadamente, até de "forja catalã".^{[6][10]} Contudo, a denominação "forno de lupa", surgida da tradução do [inglês](#) *bloomery furnace*, tem a vantagem de referir-se mais claramente ao produto da redução direta, a lupa (chamada *bloom* em inglês, *loupe* em [francês](#) e *lupe* em [alemão](#)).^[10]

A produção de ferro^[35] e aço^[9] por meio destes fornos ocorria em três etapas.^[10] Na primeira, o minério de ferro era submetido ao processo de redução direta que lhe transformava em **lupa**, uma massa esponjosa composta de ferro com baixo teor de carbono e [escória](#). Em seguida, a lupa era retirada por um orifício no fundo do forno e seguia para refino por forjamento. Por fim, o metal refinado era forjado novamente para adquirir sua forma final (**forjamento secundário**).^[10]

Segundo registros históricos, este tipo de forja lograva produzir pouco mais de 100 toneladas de barras de ferro dúctil por ano, apenas.^[36]

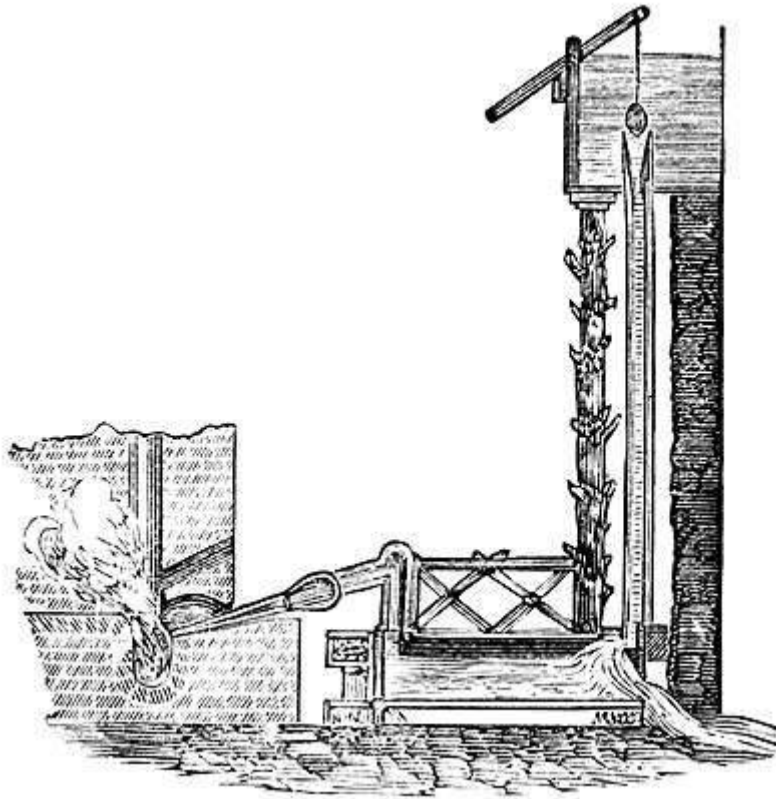
Forja Catalã

 Ver artigo principal: [Forja Catalã](#)

A “forja catalã” era um estabelecimento dedicado à redução direta do minério de ferro e à produção de ferro e aço^[37] que empregava um forno de pedra com 2 metros de altura, cujos insufladores de ar consistiam em foles de couro acionados por [trompas d'água](#).^{[35][6][10]}

Essa forja criada na região da [Catalunha](#), [Espanha](#), representou um avanço tecnológico em relação aos fornos de lupa, uma vez que sua capacidade diária de produção era quase dez vezes maior.^{[38][35]} Em razão disso, as forjas catalãs dominaram a produção de ferro na Europa do século XI ao século XV.^[9]

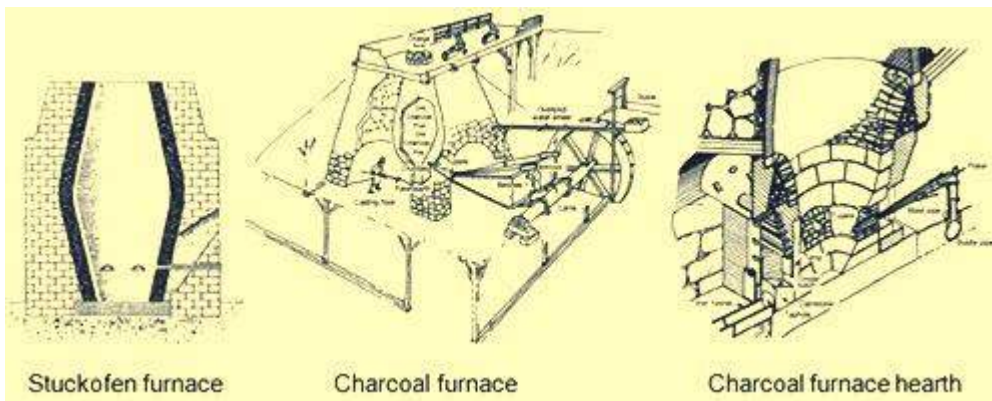
Ocorre que, com o surgimento dos [altos fornos](#) e do método de refino do [ferro gusa](#) (liga metálica com ponto de fusão mais baixo que o do ferro^[35]), a indústria siderúrgica passou a preferir o processo de redução indireta do minério de ferro, aos poucos deixando de utilizar as forjas catalãs.



The Stuckofen furnace (Fig 3) which was tallest had not only a 4.8 m high stack but also a change in stack geometry. The furnace took the shape of two truncated cones connected at the widest diameter. Two tuyeres became the standard since the waterwheel drove two bellows with one of them constantly being compressed to deliver blast. There was an opening at the bottom of the furnace to draw off slag but stone work had to be removed to extract the final product which was still a bloom of iron weighing around 318 kg. The Stuckofen furnace could produce 100 to 150 tons in a year which surpassed the production capability of a Catalan forge. One byproduct of this furnace was liquid iron. Because the iron ore had a longer residence time in the furnace to undergo chemical reactions and be exposed to higher temperatures, the iron could absorb more C which lowered the melting point. When the bloom was removed from the furnace, this liquid iron was also removed. At first it was considered a detriment since it was too brittle to be worked with the hammer. In some cases, it was recharged into the furnace or even thrown away as waste. The Stuckofen furnace is considered the forerunner of the modern blast furnace (BF). It was further modified into the 'Blauofen' (blow oven) which was capable of producing either liquid iron or forging grade sponge iron at the iron makers' discretion. This change in desired products was accomplished by changing the amount of fuel charged by 10 % to 15 % and by lowering the position of the tuyeres by 500 mm and pushing them deeper into the furnace. In the 16th century these furnaces were 6.7 m high and could produce around 1.8 tons of iron per day with a fuel rate of around 250 kg of charcoal per 100 kg of iron produced. These furnaces had a life expectancy of about 45 days.

Advances in metallurgy during the Middle Ages began with efforts to increase the efficiency and the size of bloomeries. By the eighth Century the Catalan forge had been perfected in northern Spain. Catalonians explored the advantages of taller furnaces and introduced the nozzle or tuyere for a blast of air produced by leather bellows. A five-hour heat of a Catalan Forge produced a pasty batch of slag-free iron weighing about 350 pounds.

In the eighth and ninth centuries in Austria, Saxony, and along the Rhine, the height of furnaces (*stuckofen*) was extended to as much as 16 feet. These furnaces produced malleable iron directly from the ore and turned out up to 700 pounds per heat. Eventually furnaces were so tall that leather bellows worked by men could not produce a strong enough blast so waterpower was used to compress air into a stronger blast. As more changes one by one were added, medieval blast furnace technology emerged. No single exact date or place is accepted for this-it is agreed, however, that true blast furnaces were developed at several places, including Lapphyttan, Sweden between 1150 and 1350, and at places in modern-day Belgium in 1340 and France in 1409.



2.1 Minerais para alimentar os fornos

Fornos para assar pães

Em cada redução havia uma produção diária de pães para alimentar a população que era produzido a partir da farinha processada nos moinhos, tanto de trigo como milho e cevada.





Consumo de lenha (energia)

Consumo de lenha no forno 1,7 m³ ou 510 kg/1.000 tijolos queimados

O ciclo de queima envolve cerca de 12 horas de carregamento do forno, preaquecimento (“esquentar”) de 20 horas, queima de 18 horas, resfriamento de 27 horas e descarregamento de 12 horas, perfazendo um total próximo de 90 horas ou quase 4 dias, o que pode variar em função da qualidade da lenha, tipo da argila, influenciando na temperatura de queima, tipo do arranjo interno das peças, dentre outros aspectos.

Forno de pizzeria

Em média um forno a lenha utiliza 5 a 6 m² por mês.

Fazer um cálculo do consumo de madeira por hora para alimentar os fornos