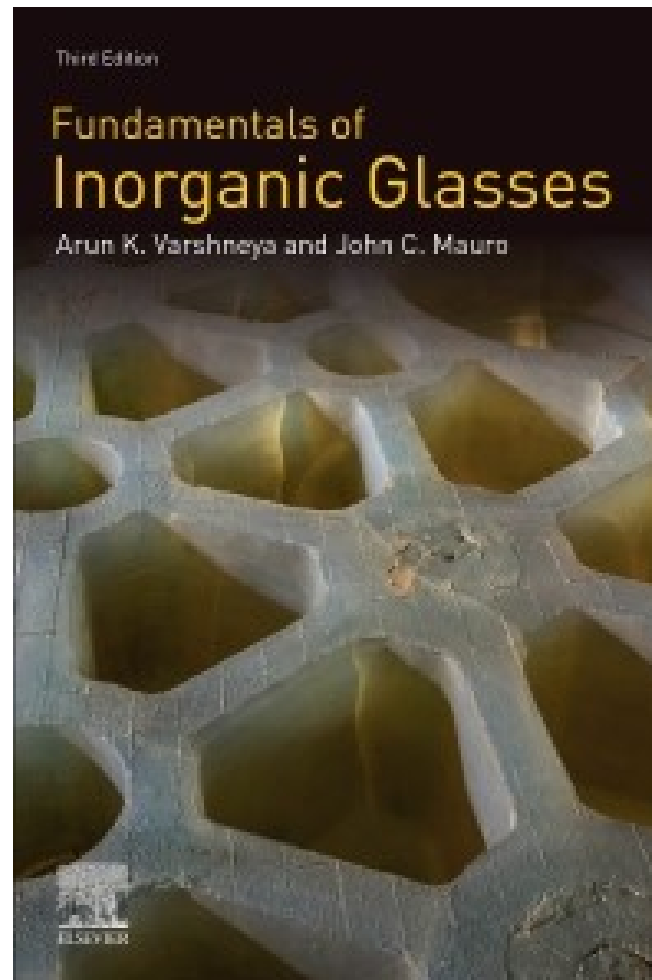


SMM5779-2 – Ciência e Tecnologia de Vidros

- As aulas começam nessa **segunda-feira, 17/08/2020**, e devem se estender até **29/11/2020**.
- O horário das aulas é das **14h às 18h** (veremos como será no decorrer do curso).
- O curso será **virtual**, pelo **MEET**, sempre pelo mesmo Link SMM5779 - <https://meet.google.com/iag-ktpc-apm>
- Vocês receberão a chamada pelo **Agendamento Google**, assim os membros externos à USP poderão entrar na sala sem necessidade de minha permissão.
- Como é a primeira vez que a disciplina é oferecida, o conteúdo será organizado ao longo do curso.
- No princípio, seguiremos o **livro**:
- **Fundamentals of Inorganic Glasses, 3rd Edition**
Authors: Arun Varshneya John C. Mauro
eBook ISBN: 9780128162262
Paperback ISBN: 9780128162255
Imprint: Elsevier
Published Date: 9th May 2019
- O livro pode ser obtido em pdf pelos alunos matriculados (Regulares e Especiais com o e-mail usp.br) pelo **Science Direct**, no link abaixo:
- <https://www.sciencedirect.com/book/9780128162255/fundamentals-of-inorganic-glasses>
- Os ouvintes, me avisem se não conseguirem o livro, por favor.





Aula 1.

História do Vidro

Prof. Dr. Eduardo Bellini Ferreira

Departamento de Engenharia de Materiais

EESC/USP – São Carlos, SP

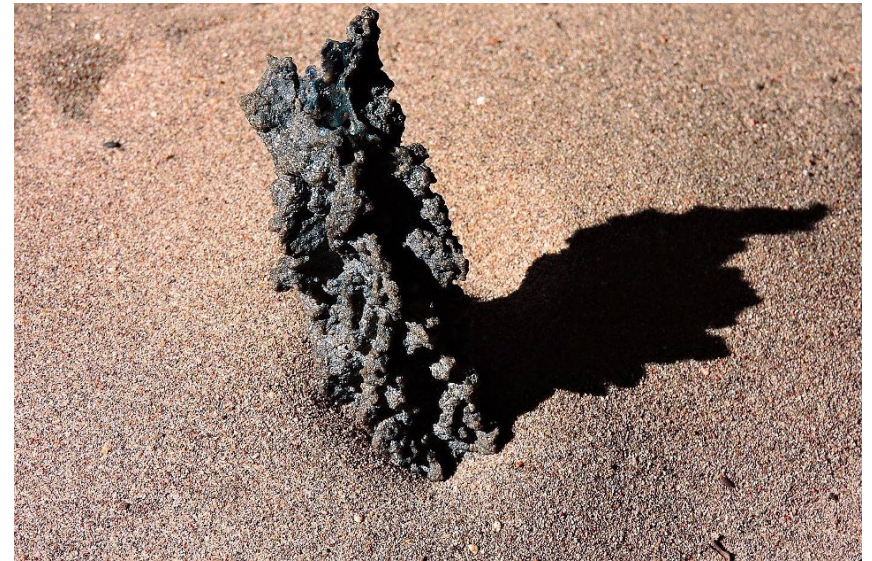
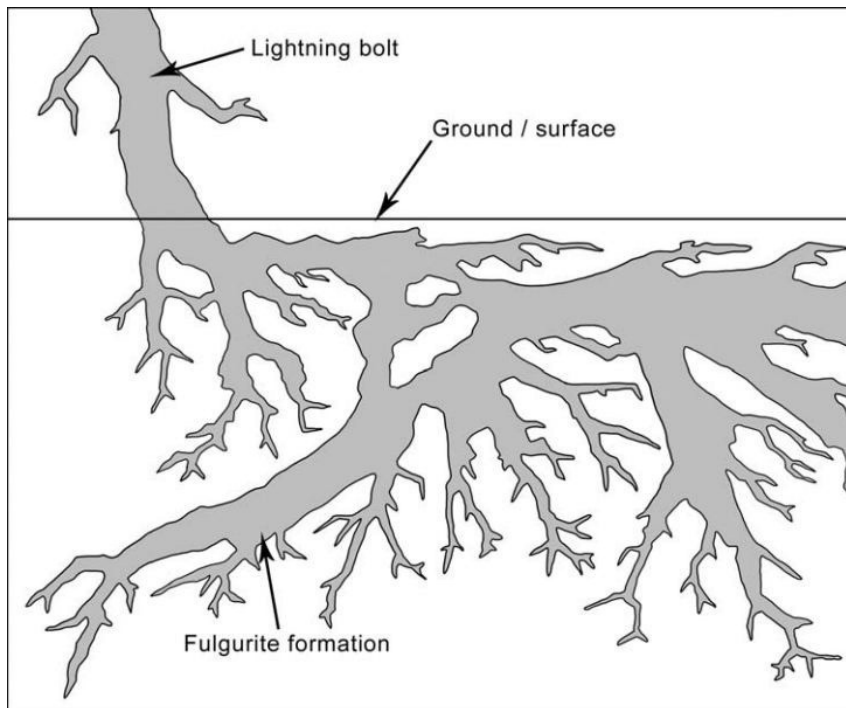
Vidros naturais - obsidianas

- **Vidros existem desde tempos remotos, resultantes do resfriamento relativamente rápido de alguns tipos de rochas fundidas como resultado de atividade vulcânica, queda de raios, ou impacto de meteoritos.**
- **Podem portanto ser encontrados fora da Terra, como constatado em rochas lunares trazidas pela Apolo-14.**

Vidros naturais - obsidianas



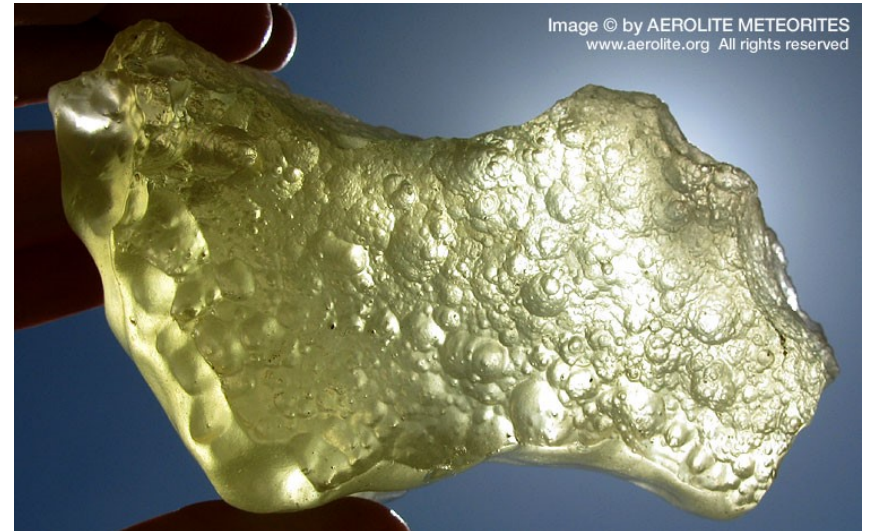
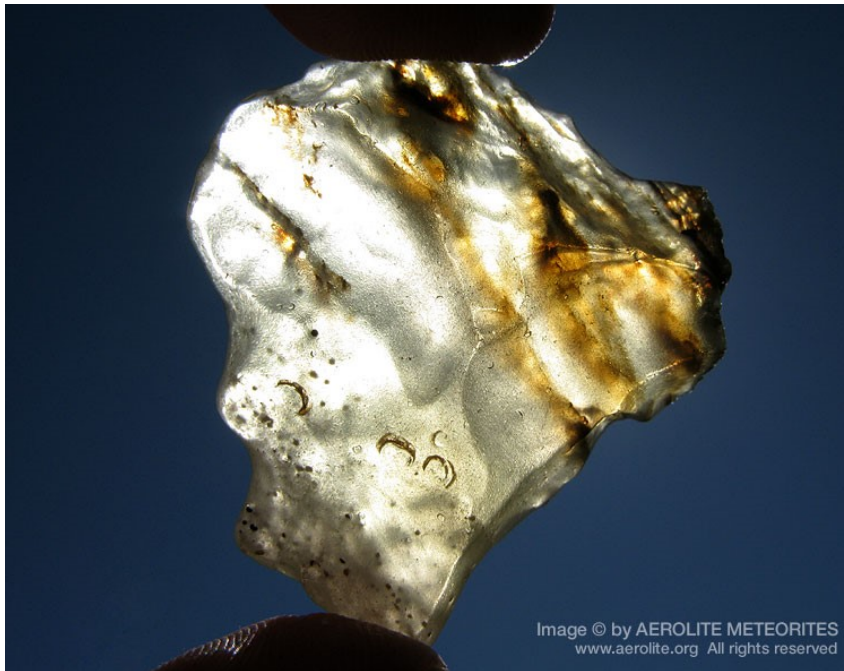
Vidros naturais - fulguritos



<https://www.nps.gov/articles/grsa-fulgurites.htm>

<https://www.geoengineer.org/news/fulgurite-a-rare-phenomenon>

Vidros naturais - impactitos



Vidros naturais - obsidianas

- Cedo o ser-humano descobriu como fazer uso desses materiais
- **Fraturas em arestas afiadas (*conchoidal* ou *concoidal fracture*)** permitiram utilizá-los como ferramentas de corte (facas, raspadores) e de caça (pontas de flechas e lanças).



Vidros naturais - obsidianas

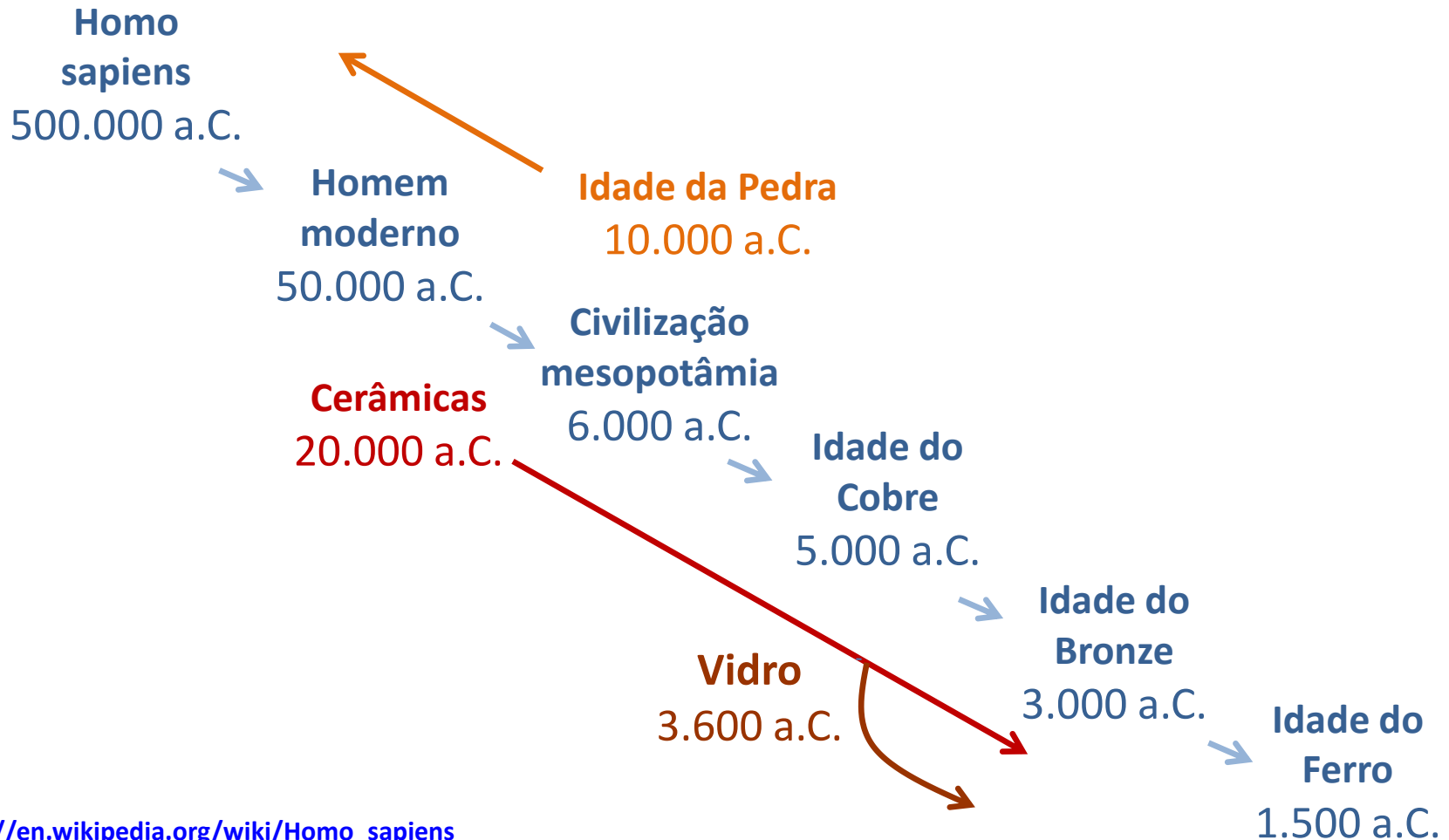
- Até hoje utilizamos em adornos



Descoberta acidental do vidro

- O **controle do fogo** permitiu ao homem desenvolver as primeiras atividades artesanais baseadas nele: cerâmica, metalurgia e fabricação de vidros.
- É provável que o vidro tenha surgido como **subproduto da fabricação de cerâmicas ou metais (cobre)**.
- Os primeiros vidros ou pastas vítreas conhecidos são **azuis ou verdes**.

Os materiais e o desenvolvimento humano



https://en.wikipedia.org/wiki/Homo_sapiens

<http://www.sglavo.it/sglavo.it> - teaching for students/teaching - v.m. sglavo glass engineering - lessons slides 2017 files/lectio01.pdf

ca. 4000 a.C. Primeiro
vidro fabricado como
esmalte em vasos e
ladrilhos cerâmicos

- A história da fabricação de vidro remonta há pelo menos 3600 anos na Mesopotâmia.
- No entanto, eles podiam estar reproduzindo **cópias de segunda classe de objetos de vidro fabricados no Egito**, onde esta complexa atividade se originou.
- Outras evidências arqueológicas sugerem que o primeiro vidro foi feito pela primeira vez no litoral norte da Síria.

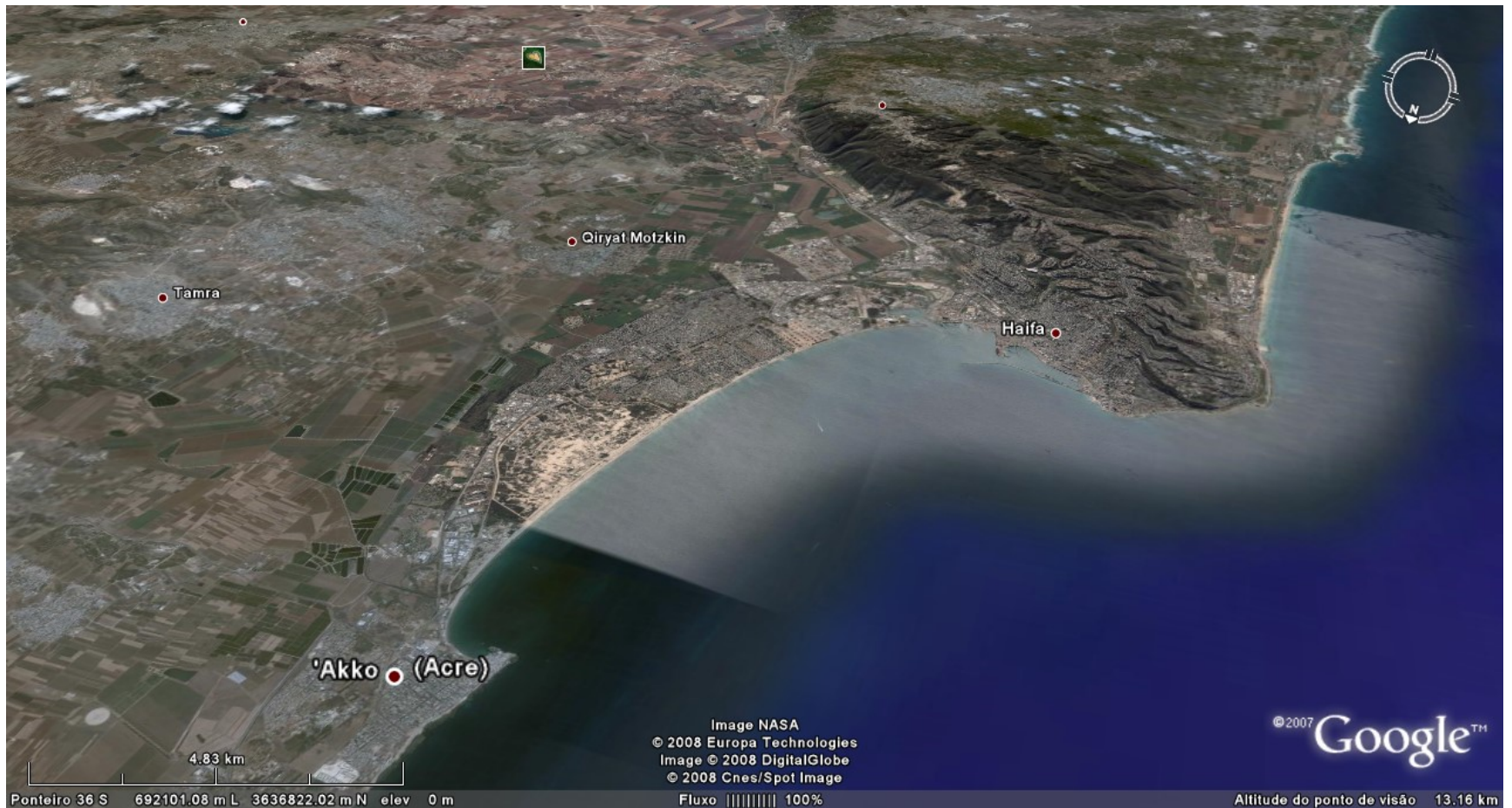


Plínio, o Velho (23 – 79 d.C.)

- “Naquela parte da Síria conhecida como Fenícia e vizinhanças da Judéia há um lago chamado Candevia, nas partes baixas do Monte Carmelo. Esta é supostamente a nascente do Rio Belos, que depois de atravessar uma distância de uns 7 km deságua no mar próximo à colônia de Ptolomeida. Seu fluxo é lento e suas águas são insalubres para se beber, embora sejam consideradas sagradas. O rio é lamacento e flui através de um canal profundo, revelando suas areias apenas quando a maré abaixa. Por isso, *não é antes de serem reviradas pelas ondas e limpas de impurezas que as areias ressurgem com brilho*. Mais, é somente nessa hora, depois que parecem afetadas pelas propriedades acentuadas e adstringentes da água salgada, que se tornam prontas para o uso. A praia se estende por não mais que 500 passos, mesmo assim a produção de vidros dependeu por muitos séculos dessa área sozinha. Há uma história que *certa vez um barco pertencente a alguns comerciantes de soda natural desembarcou aqui e seus ocupantes se espalharam pela areia para preparar suas refeições*. Como, no entanto, nenhuma rocha estava à mão ou próxima, que pudesse ser utilizada *para apoiar seus caldeirões, eles os apoiaram em blocos de soda de seu próprio carregamento. Quando estes se aqueceram e se misturaram com a areia da praia um estranho líquido translúcido correu diante deles; esta é dita ser a origem do vidro.*”



Costa de Israel



Descoberta e início da fabricação do vidro

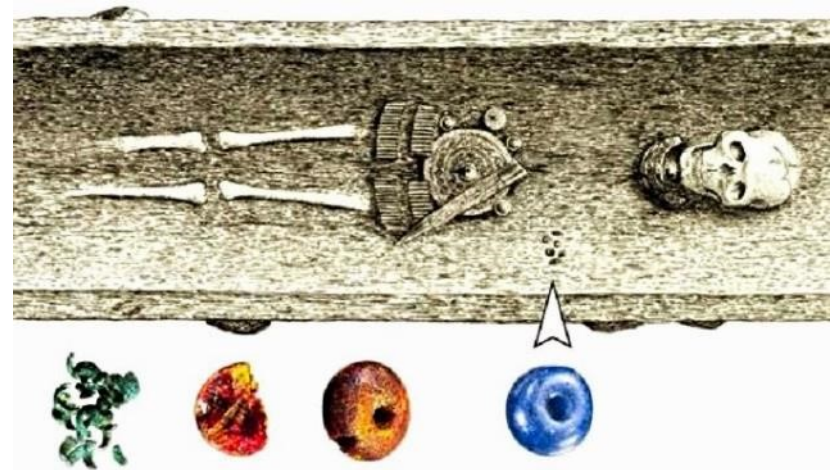
- As primeiras atividades artesanais em cerâmica, metal e vidro surgiram com o controle do fogo.
- Vidro como subproduto da fabricação de metais (escórias, cobre, bronze) ou cerâmicas – faiança, moldada à frio.
- Os mais antigos são azuis ou verdes
 - SODA-CAL-SÍLICA com altos níveis de K_2O e MgO ,
 - coloridos e opacificados por óxidos metálicos (Co, Cu) para se parecerem com pedras preciosas, turquesa e lápis-lazúli.
- Contas de vidro ligam a Dinamarca com o Egito e a Mesopotâmia na Idade do Bronze!
 - Na Mesopotâmia: areia (quartzo) e cinzas do capim do rio Tigre.
 - Contas egípcias: cobalto do deserto, da mesma oficina que produziu a máscara de Tutankhamon (cerca de 1.330 a.C.).



Faiança egípcia



Contas de vidro azul cobalto em túmulos da Idade do Bronze ligam a Dinamarca com Egito e Mesopotâmia.



1336-1327 357 PHARAOHS OF EGYPT - Headrest from the Tomb of TUTANKHAMUN, Egyptian Museum Cairo, Hans Ollermann photo 2015.



1336-1327 357 PHARAOHS OF EGYPT - Headrest from the Tomb of TUTANKHAMUN, Egyptian Museum Cairo, photo Hans Ollermann 2015.

28,3 cm



ca. 1500 a.C. Primeiros vasos inteiramente de vidro

Formado sobre molde
Grécia, 1.400-1.200 a.C.
8,5 cm de altura
The British Museum



Egito
1390-1336 a.C.

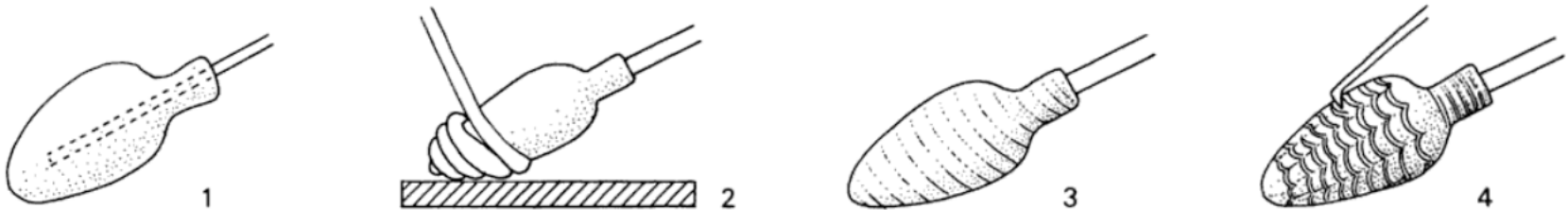


Fig. 13. Stages in the manufacture of a core-formed glass vessel of the later second millennium BC.

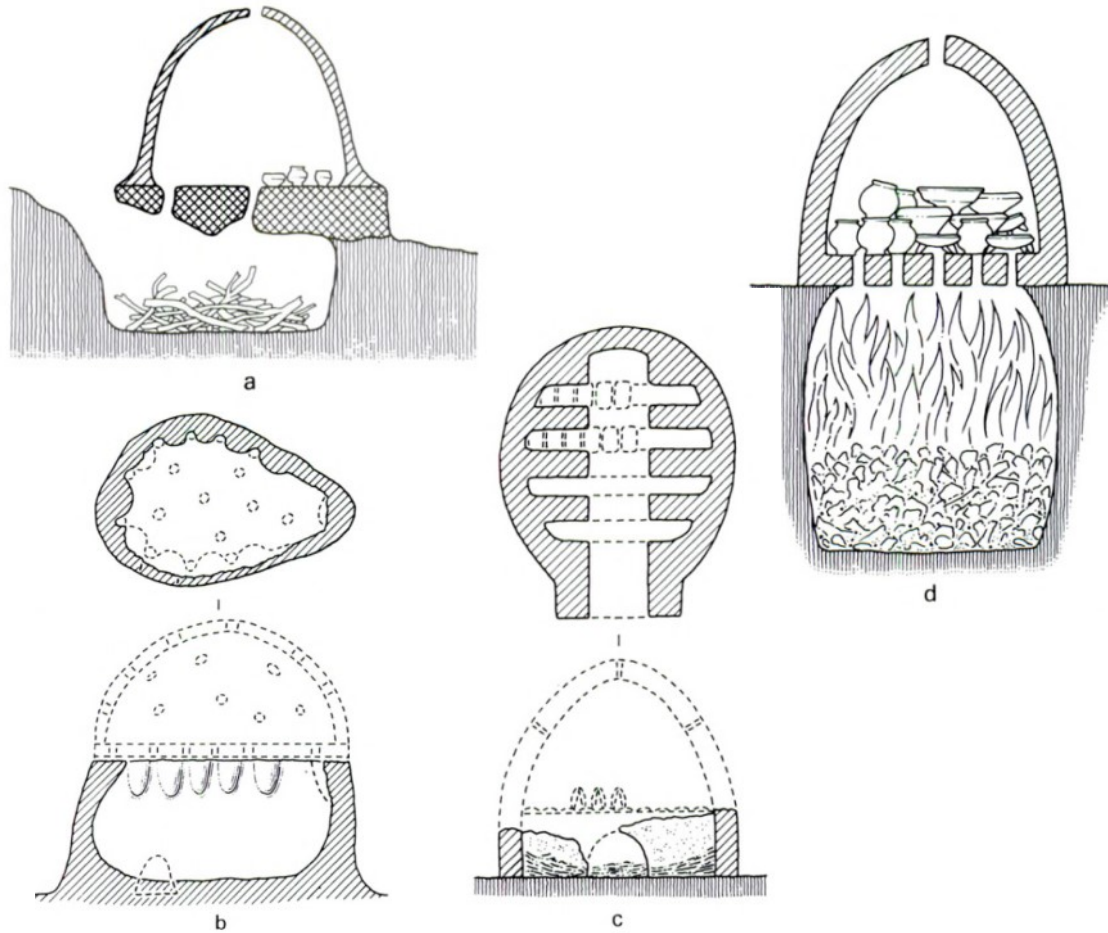


Fig. 9. (a) Restored kiln at Habuba Kabira, Syria (Uruk IV, c.3500–3200 BC) (after Strommenger 1980: fig. 75).
 (b) Kiln at Choga Mish in Khuzistan, Iran, c.3500–3200 BC (after Alizadeh 1985: fig. 1A).
 (c) Fire installation at Tell Asmar (restored), perhaps an oven rather than a kiln (after Frankfort *et al.* 1932: fig. 31).
 (d) Kiln (restored) at Khirbet Qasrij; Neo-Assyrian period (after Curtis *et al.* 1989, fig. 20).

**Modelo em escala real da metade
de um forno de vidro egípcio,
mais 3.500 anos.**



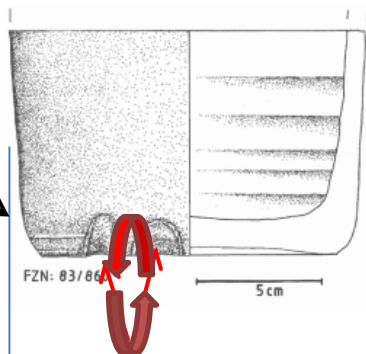
<https://www.cmog.org/audio/ancient-egyptian-glass-furnace-110>

Modelo em escala real da metade de um forno de vidro egípcio de mais 3.500 anos

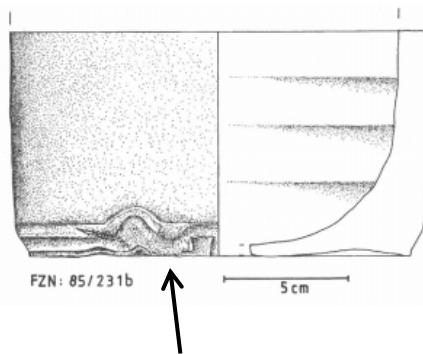


1050°C

Paredes quase verticais e tão finas quanto possível minimizavam a irradiação e maximizavam o fluxo de calor.



1100°C hot spots causavam liquefação local, diminuindo a porosidade e aumentando a transferência de calor.



Base plana ao redor dos hot spots sustentavam o peso.

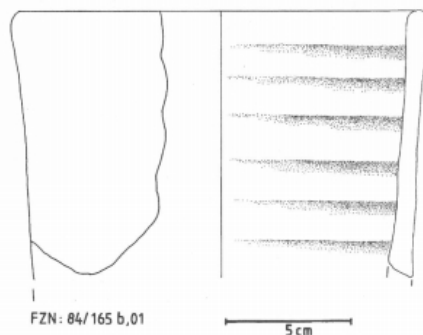
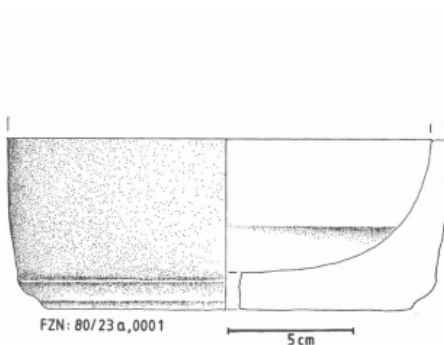
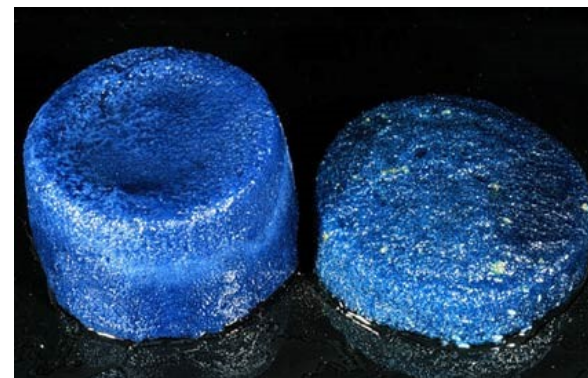


FIG. 4. Cross-sections of four crucible fragments showing the range in the internal profile (Qantir excavation drawings by S. Grotelüschen).



Rehren & Pusch, **New Kingdom Glass-Melting Crucibles from Qantir-Piramesse**, *The Journal of Egyptian Archaeology*, 83 (1997) 127-141.

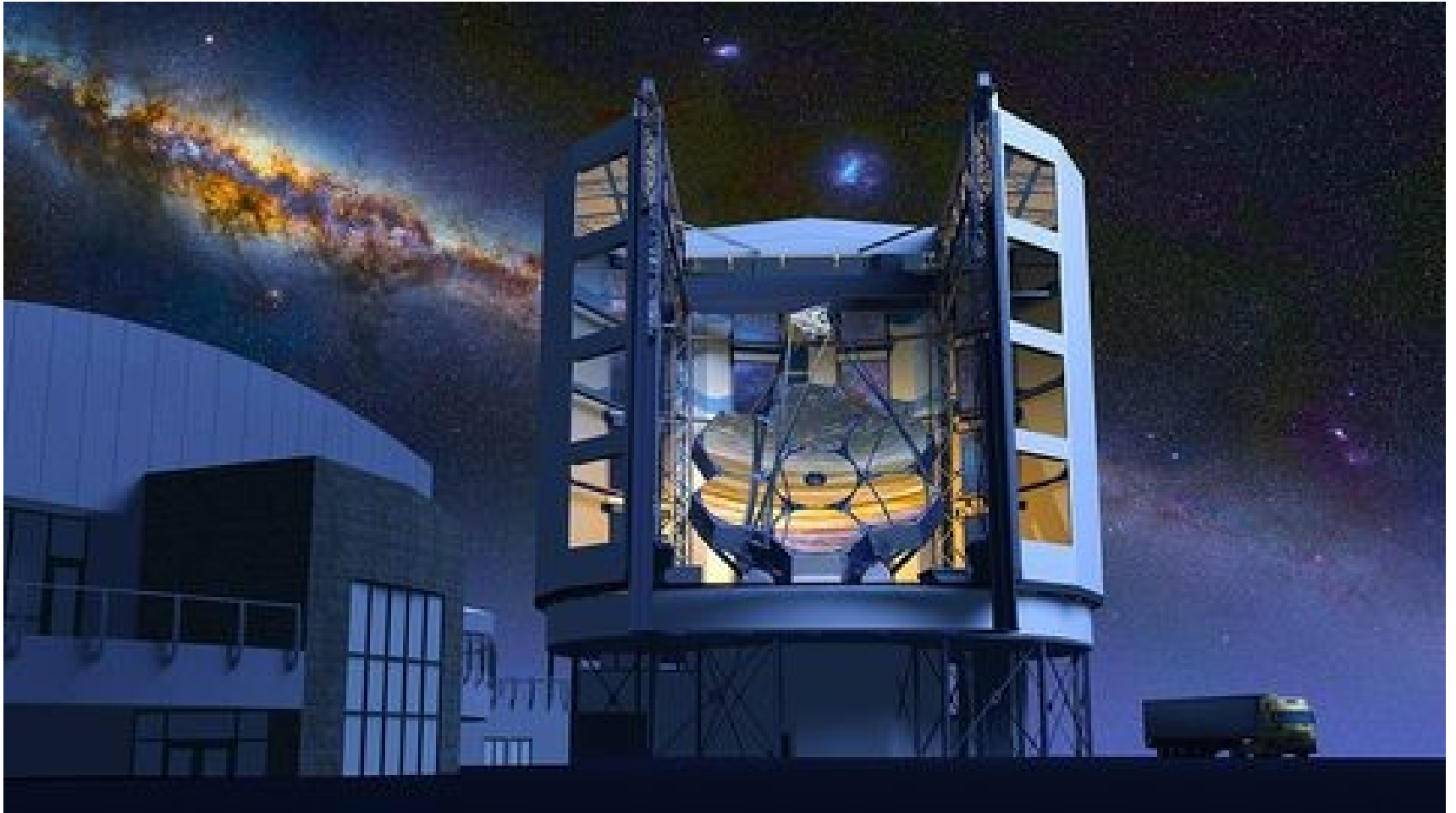
Rehren & Pusch, **Late Bronze Age Glass Production at Qantir-Piramesse**, Egypt, *Science* 308 (2005) 1756-1758.

<https://www.ancient-origins.net/ancient-places-asia/uluburun-one-oldest-and-wealthiest-shipwrecks-ever-discovered-001962#!bB89Mc>

The Giant Magellan Telescope



The Giant Magellan Telescope



7 espelhos de 8,4 m de diâmetro

ca. 30 a.C. **Invento do método de sopro** e as técnicas artísticas foram sendo apuradas até a Idade Média



Taça de vidro assinada por Ennion, o primeiro fabricante conhecido de vidro moldado decorado. Império Romano, ca. 25-50 d.C. Provavelmente fabricado em Sidon, na Fenícia (atual Líbano), encontrado em uma tumba no Chipre.



O vaso de Licurgo (**vidro dicroico**)
Final do Império Romano, Século IV



Técnica do sopro aprimorada



Garrafas de vinho – Início da idade média – sec. V



Copo de vidro de Veneza – Final da idade média – sec. XV

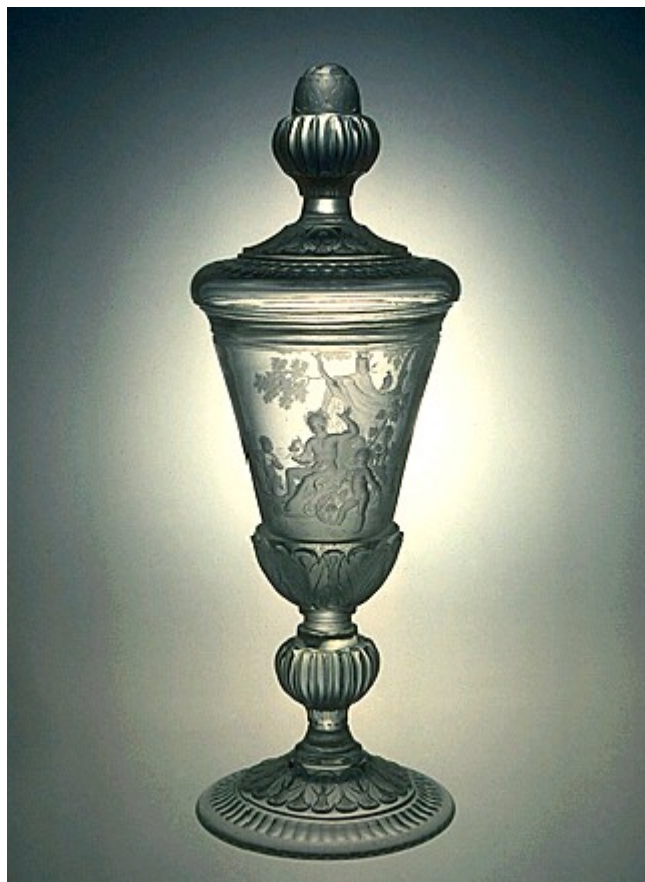
Progressos significativos

- 1687 (França) – vidro plano colado (espalhado em uma superfície metálica), técnica seguida pelo desenvolvimento da laminação e polimento.
- 1805 (Guinand – Austríaco) – agitação do vidro para homogeneização e fabricação de vidros com qualidade óptica.
- Final do Séc. XVIII – produção de Na_2CO_3 puro em grandes quantidades.

Progressos significativos mais recentes

- Séc. XVII e XIX – Revolução Industrial – fabricação automática de vidros:
 - Garrafas em Owens, EUA (1899)
 - Lâmpadas em Nova Iorque, EUA (1879)
 - Laminação contínua de vidro plano, Bélgica, EUA, Alemanha e França (1901-1930)
 - Pyrex (borossilicatos, alta resistência química e resistência ao choque térmico)
 - Vicor (97% SiO₂)

Revolução Industrial – 1760 a 1840



Taça inglesa (séc. XVII)



Produção em massa.
Inglaterra (séc. XIX).



Diminuição de custo e
diversificação de usos.

Revolução Industrial 1760 a 1840

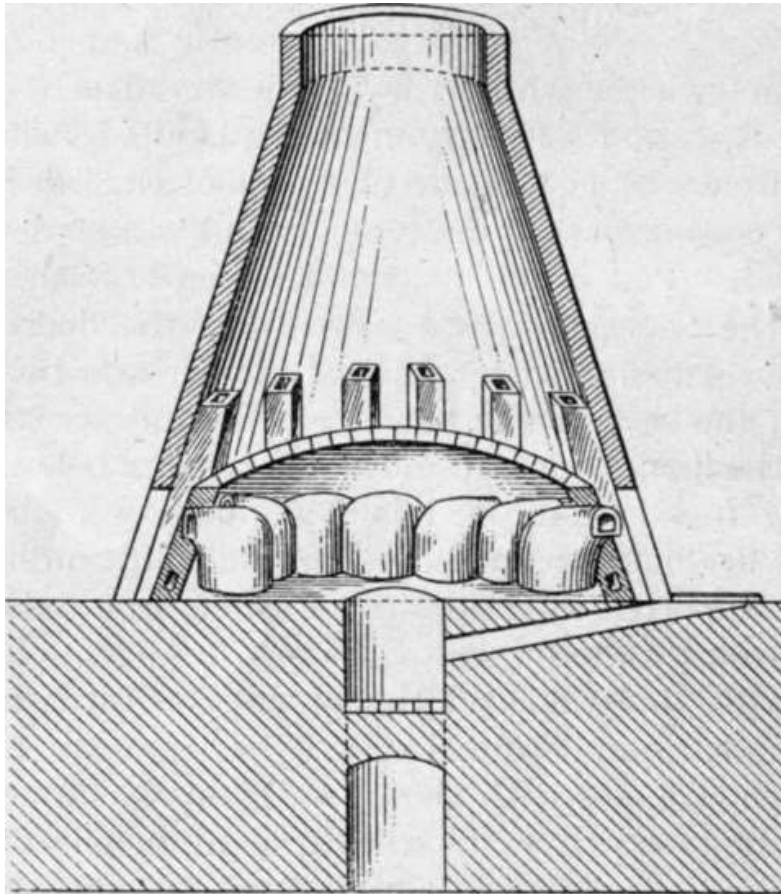


Espanha

Fábrica de vidro
na Inglaterra em
1858.



Fornos de fusão em potes – até o século XX



Interior de um forno de fusão em fábrica inglesa.



Fábrica Real de Cristais – Espanha.

ca. 50 d.C. Primeiro vidro de janela

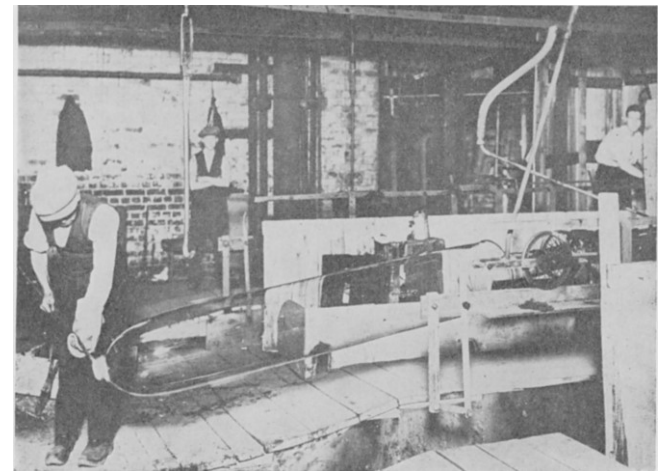


Vidro plano de janela romano, provavelmente fabricado por vertimento em molde aberto (provável um dos primeiros fabricados). Casa da região atingida pela erupção do Vesúvio em 79 d.C., destruindo Pompéia. (The British Museum.)

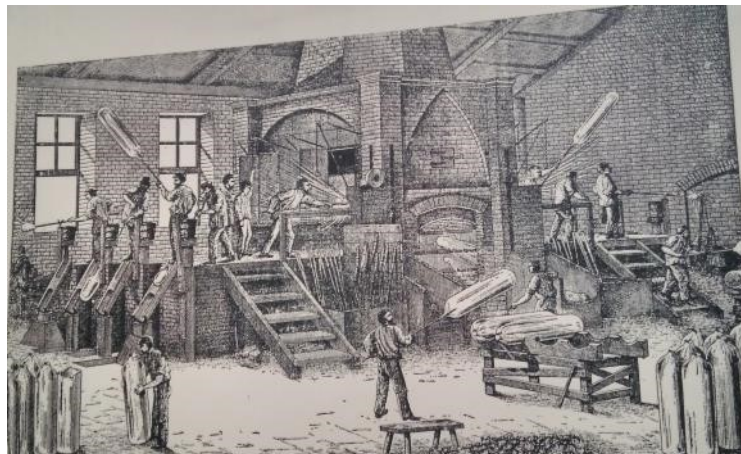
Evolução da fabricação de vidro de janela



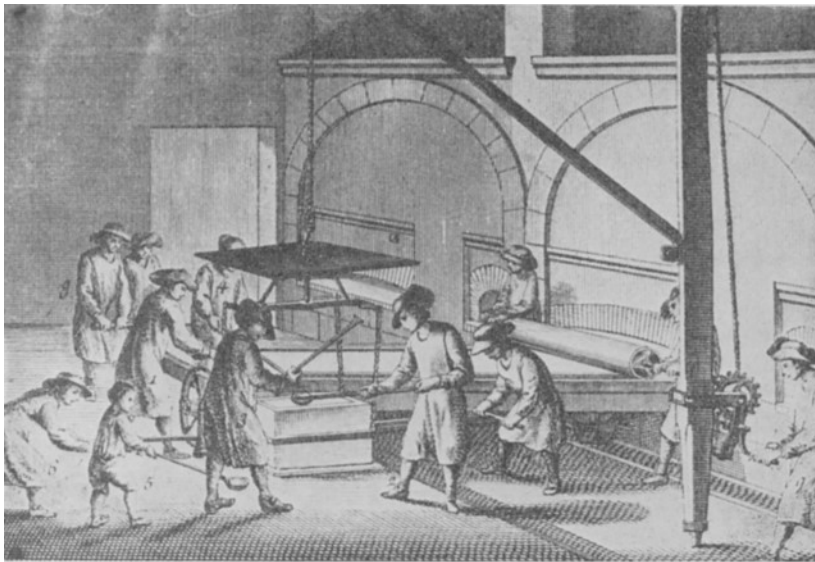
Vidro Crown – até meados do século XIX.



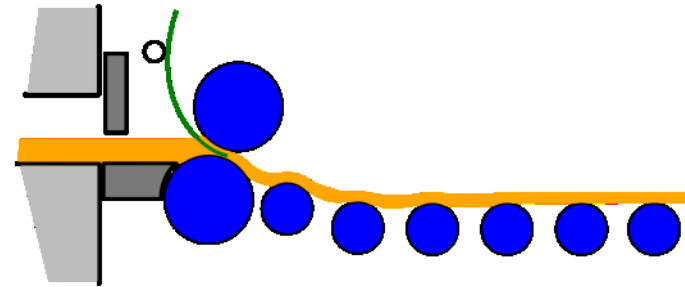
Em 1903, a American Glass Glass Company desenvolveu um método para o sopro mecânico de cilindros de até 13,4 m de comprimento e 1 m de diâmetro.



Evolução da fabricação de vidro plano



De 1688 até a Primeira Guerra Mundial, o processo de fabricação de vidro plano evoluiu pouco.



Após a Primeira Guerra Mundial, o processo Bichroux foi introduzido. O vidro, ainda fundido em panelas, é conformado de forma contínua na forma de placa, entre rolos mecânicos, em vez de vertido e rolado em mesa.



Pilkington and Ford – fusão e laminação contínuas – float (~1960)

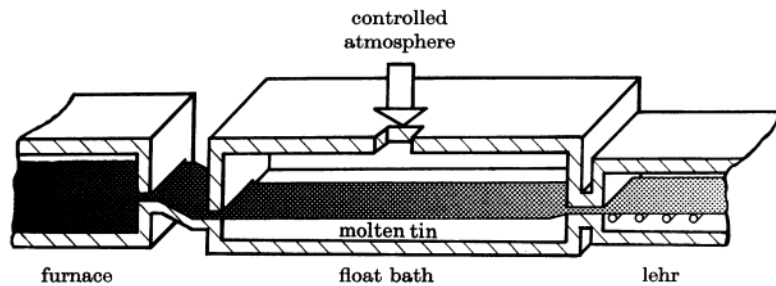
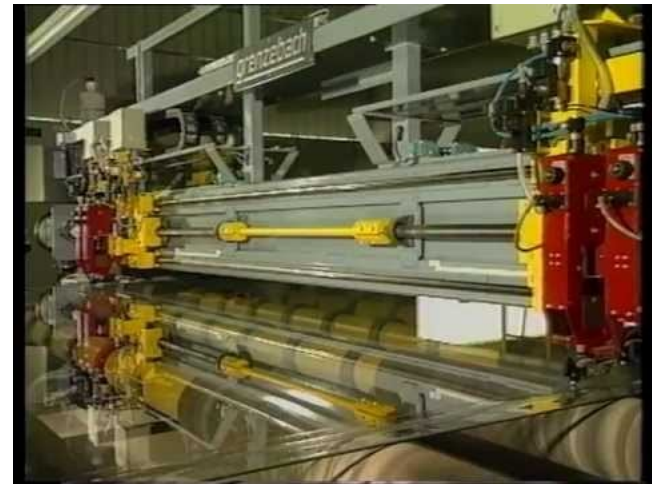
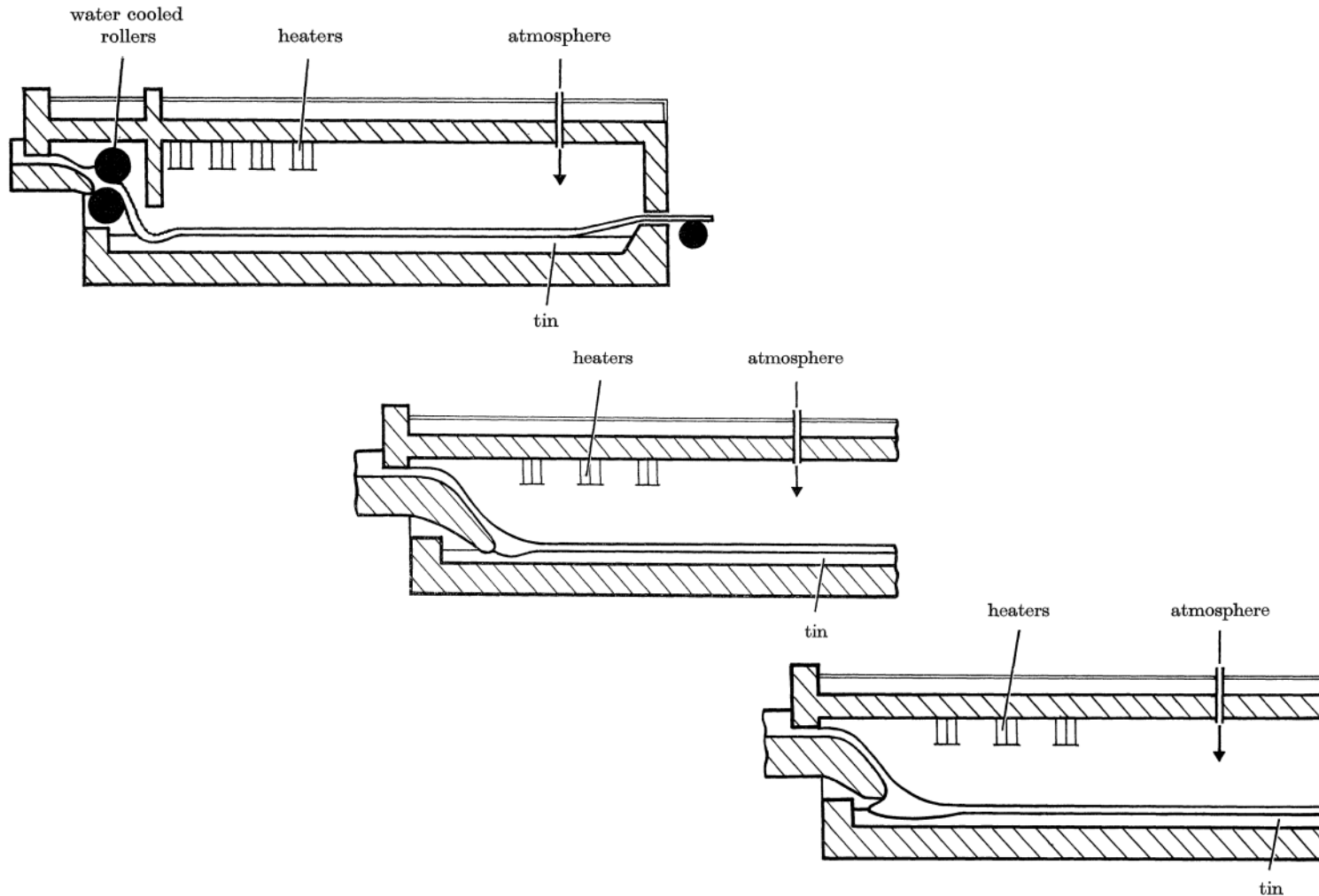


FIGURE 9. Diagram of the float process.

Vidro vertido em estanho fundido – processo contínuo.

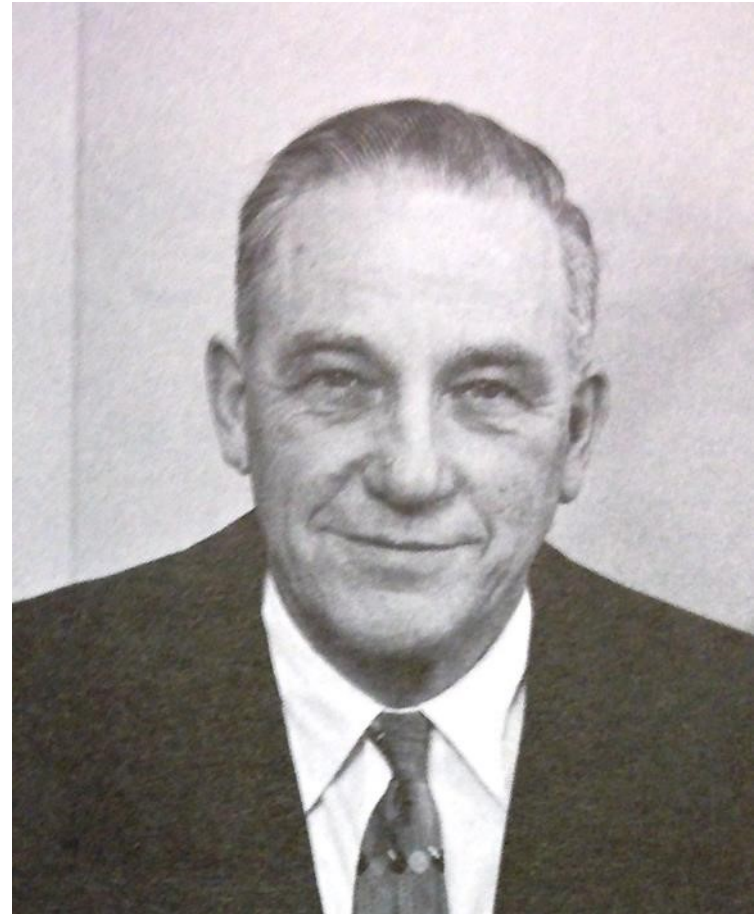


Desenvolvimento do processo float

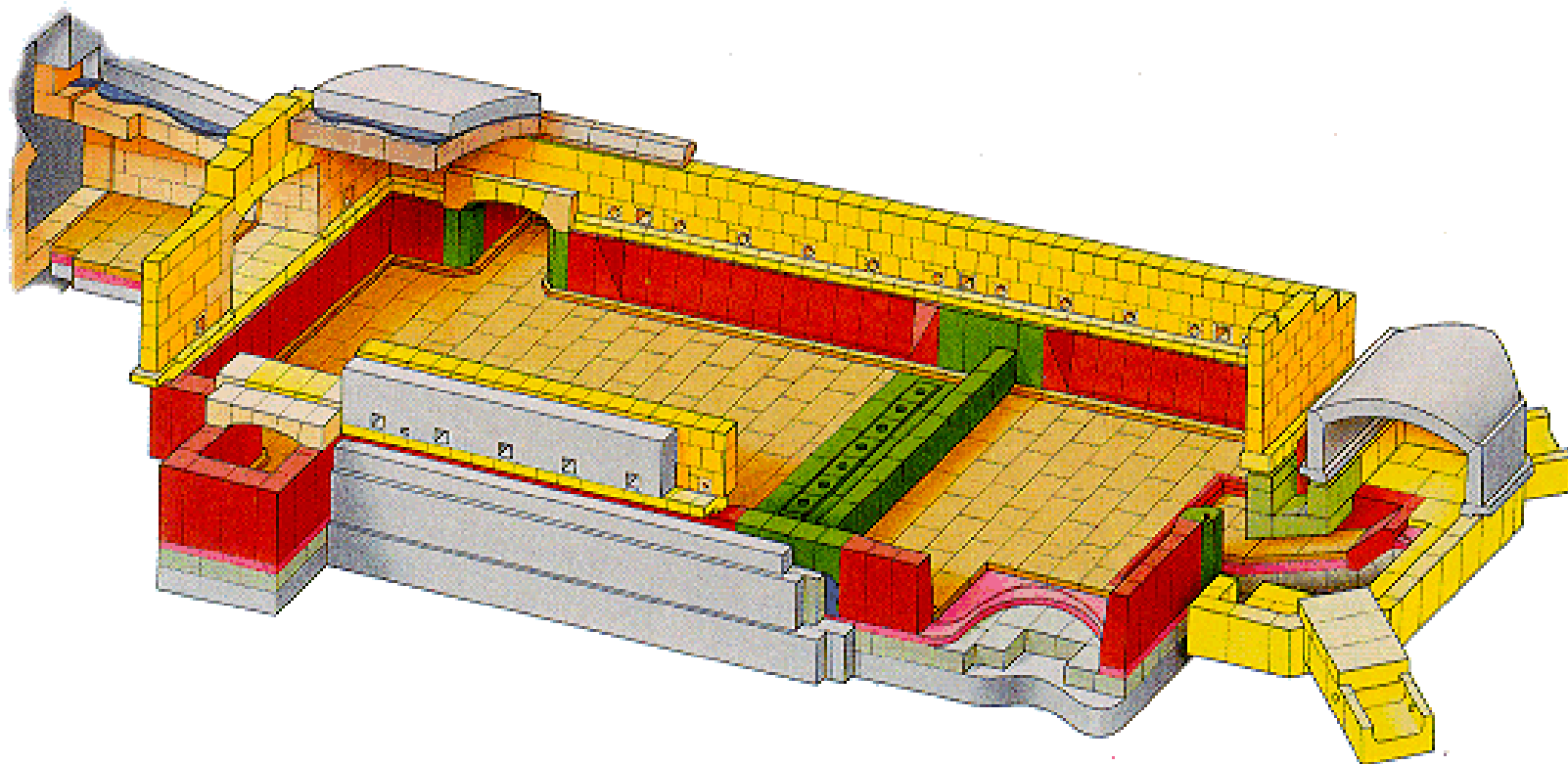


Desenvolvimento de Refratários especiais

- Na década de 1920, trabalhando para remover impurezas e “pedras” dos vidros de borosilicato da Corning, Harrison Hood percebeu que qualquer material que não derretesse adequadamente no tanque de vidro merecia ser investigado como uma solução para composições refratárias mais resistentes.
- Cooperando com o físico G. S. Fulcher, Harrison Hood desenvolveu os materiais refratários de silicato de alumínio (mulita) eletrofundidos chamados Electrocast, que prolongaram significativamente a vida útil das unidades de fusão, e se tornaram o produto base para a nova empresa da Corning: a Corhart.

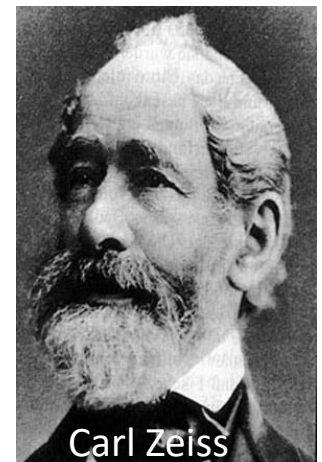
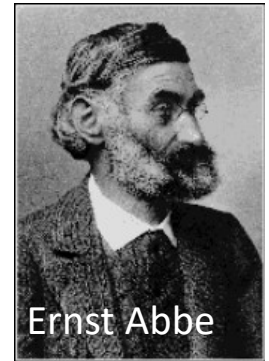


Demanda por fornos de altíssimo rendimento



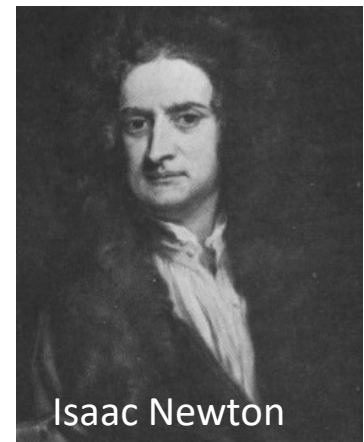
Progressos significativos em óptica

- Séc XIX – Otto Schott, Ernst Abbe e Carl Zeiss, em Jena (Alemanha), trabalho sistemático para produção de vidros com diferentes índices de refração em função da composição química – novos instrumentos: refratômetros, polarímetros, interferômetros, microscópios.
- 1884 (Jena, Alemanha) – Jenaer Glaswerk und Gen



Contribuição dos vidros para a Ciência e Tecnologia

- Óptica – lunetas, telescópios, microscópios, óculos – propriedades de transparência, refração e isotropia.
- Química – recipientes para experimentos químicos, instrumentos diversos (alambique, termômetros, etc) – estabilidade química, resistência aos agentes químicos, transparência.
- Incontáveis outras!



ca. 4000 B.C. The first manufactured glass was made in the form of a glaze on ceramic vessels.

ca. 1500 B.C. The first vessels entirely of glass were made.

ca. 30 B.C. The blowpipe for blowing glass was invented.

ca. A.D. 50 The first window glass was manufactured.

ca. 900 Glass industries flourished in Persia and Iraq.

ca. 1300 Venetians began to dominate glassmaking.

1535 The first glass made in the Western Hemisphere was made at Puebla de los Angeles in Mexico.

1674 George Ravenscroft in England made lead glass.

1688 Plate glass was produced by casting by Louis Lucas in France. This led to the wide use of mirrors.

1790 Good optical glass was made by Pierre-Louis Guinand in France, by stirring glass in melting pots.

1879 The bulb for Edison's electric light was blown by Fred Dourlein, Corning Glass Works in New York.

1902 A machine to draw a continuous sheet of glass was developed by Emile Fourcault of Belgium.

1903 Laminated glass was invented by Edouard Benedictus in France.

1904 An automatic bottle-making machine was invented by Michael J. Owens in Toledo, Ohio.

1908-1918 Sheet window-glass drawing machine was invented by I.W. Colburn, and developed by Libbey-Owens Sheet Glass Co. in Charleston, West Virginia.

1912-1915 Heat-shock resistant borosilicate glass (trademark *Pyrex*) was developed by Eugene C. Sullivan and William C. Taylor of Corning Glass Works.

1920 Polarized glass was invented by Lewis W. Chubb of Westinghouse Electric Co., East Pittsburgh, Pennsylvania.

1926 A fully automatic machine to blow electric-light bulbs was developed by Corning Glass Works.

1926 A machine to draw sheet glass directly from the furnace was developed by Pittsburgh Plate Glass Co.

1930 Insulated window glass (*Thermopane*) was invented by C.D. Haven in the United States.

1931-1938 Fiberglass was developed by the Owens-Illinois Glass Company and Corning Glass Works.

1939 96 per cent silica glass was developed by Harrison Hood and Martin Nordberg of Corning Glass Works.

1939 Invisible coatings on glass, to reduce light reflection, were developed independently by Katherine B. Blodgett of General Electric Laboratories, and Hawley Cartwright and Arthur F. Turner of Massachusetts Institute of Technology.

1942 Foam glass was developed by the Pittsburgh Corning Corp.

1947 Photosensitive glass was developed by S.D. Stookey of Corning Glass Works.

1951 Photochemical glass was developed by Corning Glass Works.

1955 Lightweight glass solder was developed by Owens-Illinois Glass Co.

1957 Glass-ceramic crystalline materials (*Pyroceram*) were developed by S.D. Stookey of Corning Glass Works.

1959 Float process for continuous production of flat glass was developed by Pilkington Brothers, Ltd., in St. Helens, England.

1961 Laser glass was invented by Elias Snitzer of the American Optical Corp.

1962 Chemically tempered glass was developed by Corning Glass Works.

1964 Photochromic glass was developed by W.H. Armistead and S.D. Stookey of Corning Glass Works.

1967 High-strength laminated sheet glass for dinnerware (*Corelle*) was developed by James W. Giffen of Corning Glass Works.

1970 Fiber optic wave guides for practical use were developed by D.B. Keck, R.D. Maurer, and P.C. Schultz of the Corning Glass Works.