HISTÓRIA DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Tópicos Gerais

1. Conceito físico de Energia e a Conservação da Energia (discussão breve sobre conceitos já desenvolvidos no curso de Física).

2. Sistemas energéticos, Estados e modelos sociais experimentados por diferentes povos.

3. Sistemas energéticos e alternativas econômico-sociais sustentáveis.

4. Calculando energias em nosso cotidiano.

Bibliografias importantes

- Uma história da Energia, Daniel Hémery, Jean-Claude Debeir, Jean-Paul Deléage

- 1491: Novas revelações das Américas antes de Colombo, Charles C. Mann.

O QUE É ENERGIA?

Visão Clássica – capacidade de realizar trabalho mecânico

Lei da Conservação da energia

Conversores de energia: moinho de vento, moinho de água, máquinas térmicas (combustão interna – Otto, Diesel etc, combustão externa – máquina à vapor), células fotovoltaicas, motor elétrico, gerador elétrico, pilhas, animais,vegetais etc.

Entropia – a conservação da energia não é o bastante para que um processo de conversão energética ocorra. A entropia registra os limites para esse processo ocorrer:

$\Delta S \geq 0$

Flecha do Tempo, processos irreversíveis.

Seres Vivos e Energia

Os organismos vivos - “máquina” muito particulares, capazes de converter uma forma de energia em outra:

autótrofos – capazes de processar e armazenar a energia solar (melhor rendimento ~2%)

heterótrofos – buscam sua energia nos autótrofos ou em outros heterótrofos

Processo de evolução:
seleção natural, propaga lentamente mutações vantajosas - seres vivos desenvolvem **órgãos endossomáticos;**

cultura - Ser Humano através de modificações culturais, produz **“órgãos” exossomáticos** muito mais rapidamente.

Consumo energético dos seres humanos: 2.500 a 3.000 kcal
Necessita pelo menos 1.500 kcal para não degradar

Eficiência do conversor humano ~ 20%
Rendimento mais elevado do Reino Animal

Eficiência do cavalo < 10%
Eficiência do boi < Eficiência do cavalo

Sistema Energético

Linhas de conversores que permitem a captação de fontes energéticas. Mas tem em conta as condições econômico-sociais e políticas que os circunscreve.

- Diversas linhas de conversores utilizam determinada fonte de energia, por iniciativa e sob controle de classes ou grupos sociais.

Envolve:

características ecológicas e técnicas – área e técnica de suprimento da energia primária, modos de coleta e extração, transporte e armazenamento, tipos de conversores e forma da energia final, concorrência e complementaridade entre linhas.

+

formas de apropriação que comandam escolha dos conversores e os modos de consumo de energia.

Energia Humana está presente em todos os sistemas energéticos,
com importância energética diversificadas:

- sociedades escravagistas da Antiguidade
- Império Chinês, Asteca ou Inca
- feudalismo da Europa Ocidental
- capitalismo contemporâneo

Exemplos de Sistemas Energéticos:

Conversores humanos

“Megamáquina” - “estrutura invisível, composta por elementos humanos vivos mas rígidos, cada um designado ao seu encargo, a seu papel, a sua tarefa particular, a fim de permitir o enorme rendimento do trabalho ...” (Lewis Munford)

EXEMPLOS:

Suméria (Sul da Babilônia) e Egito III milênio AEC

Egito dos faraós maior exemplo de coordenação e mecanização da energia humana por meio de um poder político-religioso centralizado.

Moinhos d'água (e mais tarde eólicos) idade média

Espadem nos séculos XI e XII
Integrados ao sistema Feudal, saturam no século XIII
Restauram-se a partir do Capitalismo nascente.
Lógica capitalista –
produção fabril em contraposição ao trabalho artesanal,
muda eficiência de apropriação desta energia.

Máquina a vapor (primeiro converso de energia térmica em mecânica)
No sistema capitalista não teve por objetivo aliviar o trabalho operário,
mas permitir aos patrões das manufaturas produzirem mais rápido e barato.

O que faz com que os sistemas energéticos mudem de posição?

ou

Porque se passa de um sistema energético a outro?

Linha energética pode depender do momento ecológico ou técnico (descoberta/esgotamento do petróleo – persistência do carvão e do gás, moinho d'água/hidrelétrica etc).

Mas podem servir para reforçar uma classe social ou aparelho do Estado.
Independentemente da "solução técnica", traz a marca do poder político-religioso do faraó, do senhor feudal, do Estado burguês etc.

Conflitos relativos aos sistemas energéticos envolvem:

- apropriação do excedente
- livre acesso às fontes (domínio do espaço)
- domínio da energia endossomática do indivíduo: trabalhar para que e para quem (domínio do nosso tempo)

Modelos de Apropriação:
Escravidão
Servidão
Estado Capitalista
Estado Socialista
Comunismo

Análise sobre relações de trabalho é fundamental, mas pode deixar de lado um fato: os recursos naturais são finitos.

Evolução dos Sistemas Energéticos e Conversores Energéticos

Fogo

Não somente uma técnica que fornece energia,mas
fator de hominização e socialização.
Participa da vida cotidiana, material e simbólica da humanidade
Homo Sapiens ~150mil anos (talvez 320 mil anos)
Homo Sapiens Sapiens ~35 mil anos

Há registro do uso do fogo por hominídios há cerca de 1,4 milhões de anos

Homem Caçador coletor até ~12 mil AEC

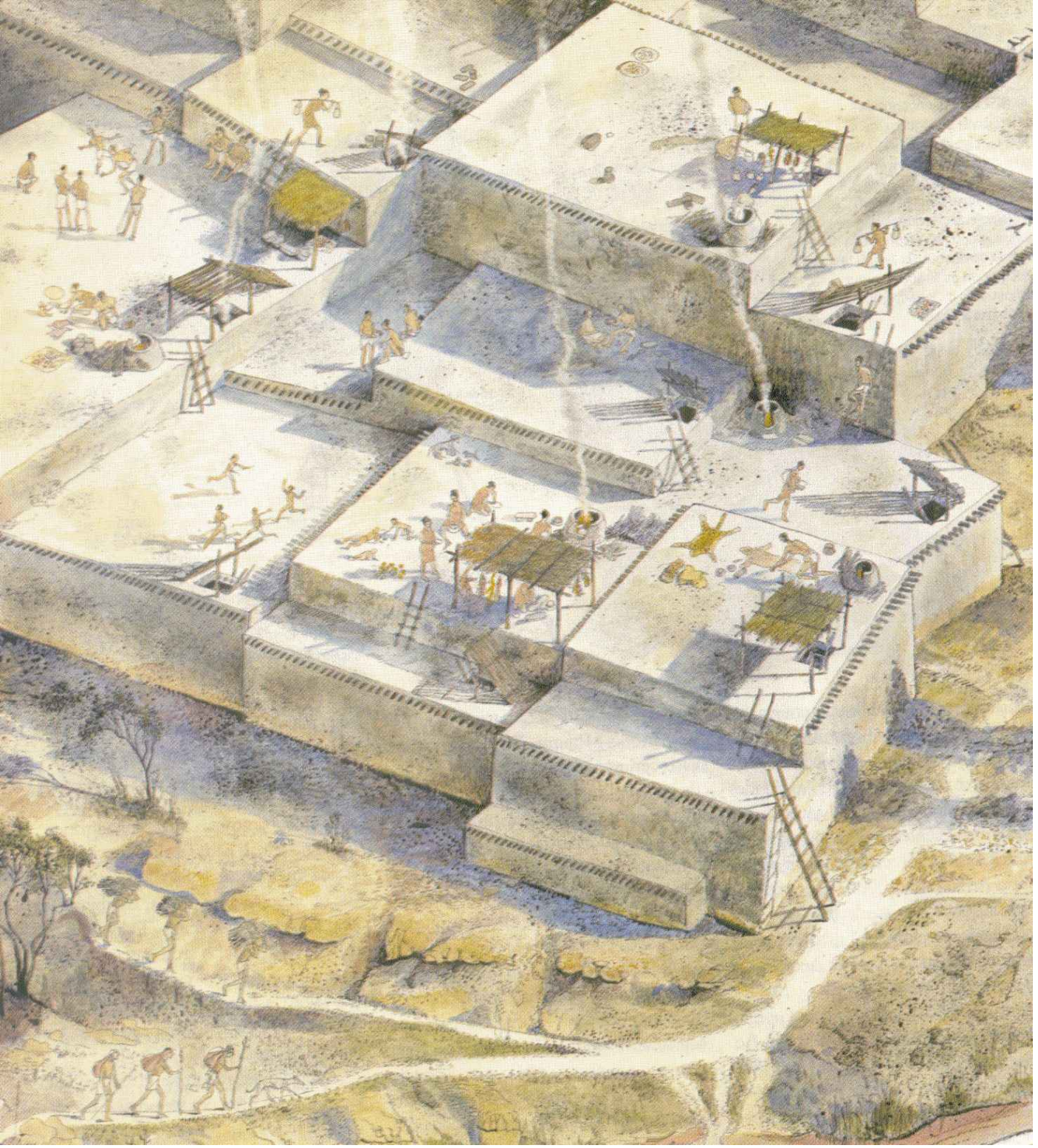
(AEC = Antes da Era Comum)

- Exige baixa densidade populacional (1 habitante)/(1 a 10 km²)
- Grupos de algumas dezenas de indivíduos
- Território de predação limitado pela distância a ser percorrida (energia para ir e voltar X energia coletada)
- Conversão de energia dos alimentos realizada pelo corpo humano.
- Limite para a população da terra seria de 5 a 10 milhões de habitantes

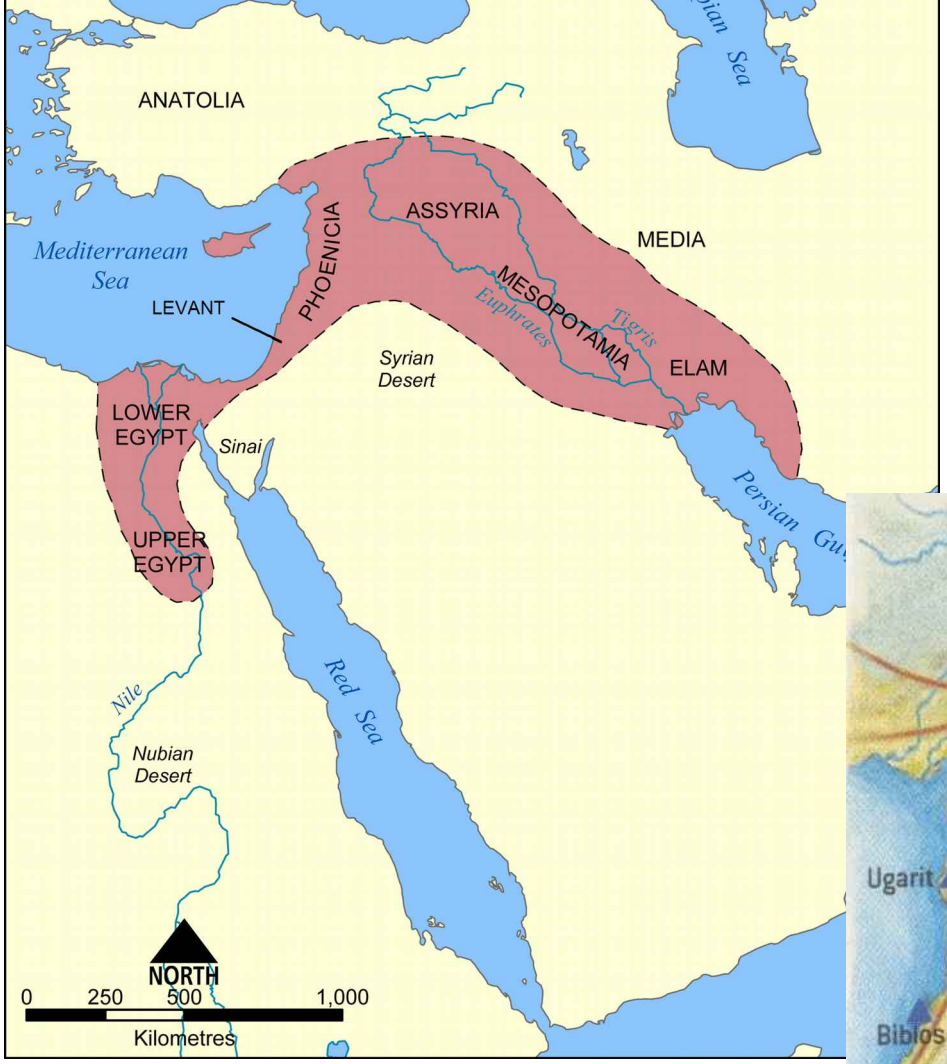
Revolução Neolítica

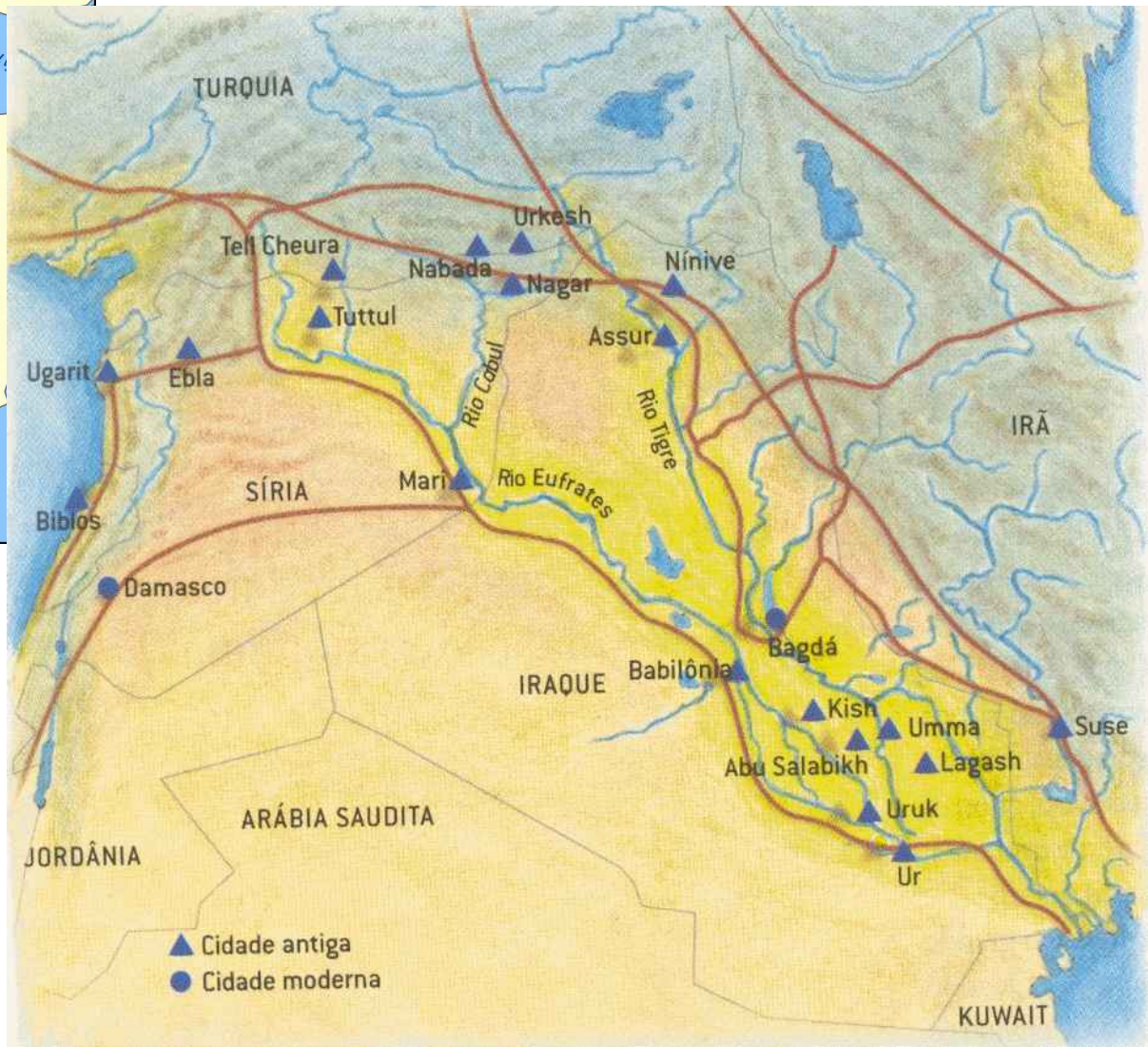
permitiu grande aumento da energia per capita produzida por técnicas agrícolas e pastoris.

Revolução Neolítica. 15 a 10 mil AEC o homem caçador/coletor começou a domesticar sementes e animais, o que levou ao estabelecimento de hábitos sedentários - **formação de aldeias e cidades.**



Çatal Hüyük (Turquia)
7000 AEC





Uruk - 4800 a 3800 AEC
Egito < 4000 AEC

Primeiro grande sistema energético registrado na história:

cultura irrigada de cereais no início do 4° milênio AEC, suporte das primeiras grandes aglomerações humanas que temos registro

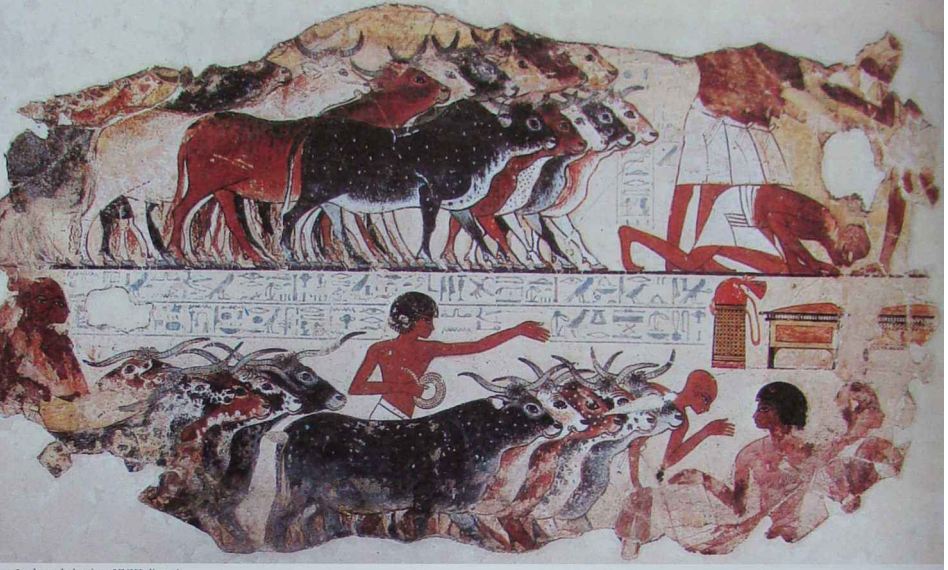
Maioria dos vegetais utilizam:
300 a 1000 kg de água p/ 1kg de matéria seca
trigo ~500 kg => 1000 kg p/ 1kg de grão
Fotossíntese: $(6\ CO_2 + 12\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O)$
e
Transporte de nutrientes

Utilização ótima da energia solar por estes conversores =>
água disponível = evapotranspiração potencial.
Egito – cheias do Nilo promovia processo natural de irrigação
Mesopotânia – canais de irrigação no Tigre e Eufrates

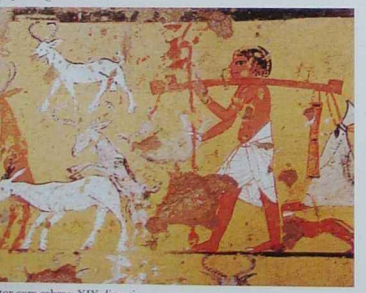
surgimento dos primeiros Estados.

Gerou excedente energético para liberar pessoas para outras produções, compor exércitos, burocracia e criadagem estatal.

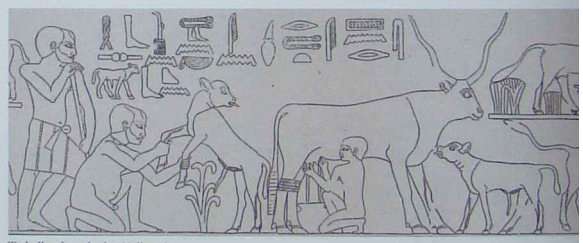
Alimentou a “mega máquina” humana da escravidão/servidão egípcia.



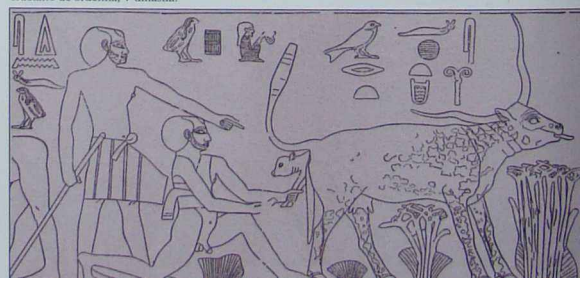
peção do gado bovino, XVIII dinastia.



tor com cabras, XIX dinastia.



Trabalho de ordenha, V dinastia.

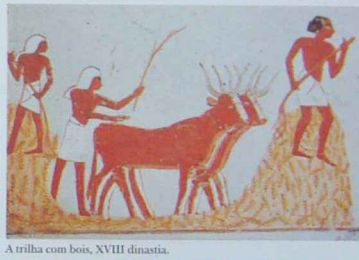


Intensa produção agrícola e pastoril
Propiciou a liberação de pessoas para
o exercício de outras atividades →

ração, Império Médio.

Ventilação e transporte das espigas ao celeiro. XVII dinastia.

eita do cereal. V dinastia.

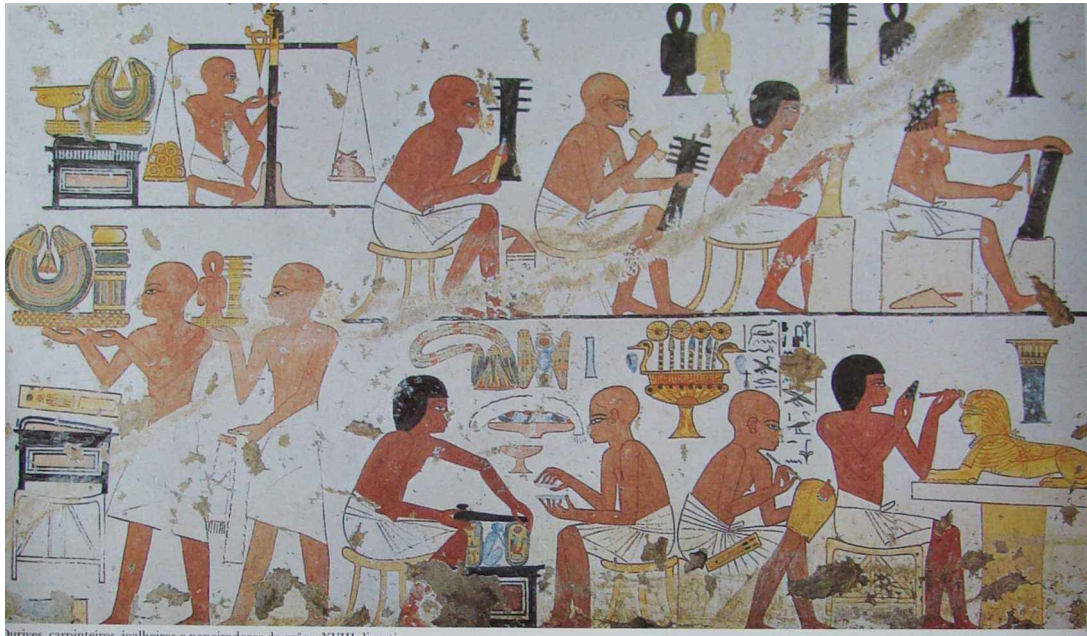


A trilha com bois, XVIII dinastia.

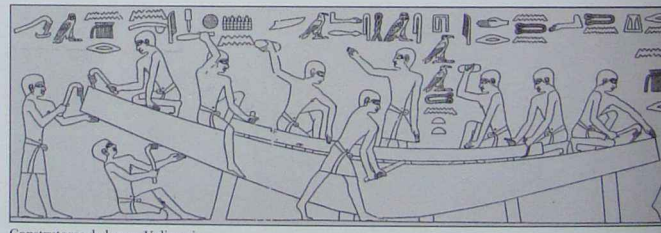
→ Exércitos, burocracia estatal

53. Os lanceiros de Asiut avançam ameaçadores com seus escudos de couro; cor clara de sua pele indica que se trata de tropas locais. Este achado foi feito junto

→ Produção industrial e artesanal, artes



urives, carpinteiros, joalheiros e peneiradores de grãos, XVIII dinastia.



Construtores de barco, V dinastia.

Sistema energético Egípcio

Faró concentrava poder político e religioso

Registros da “máquina humana na Mesopotânia

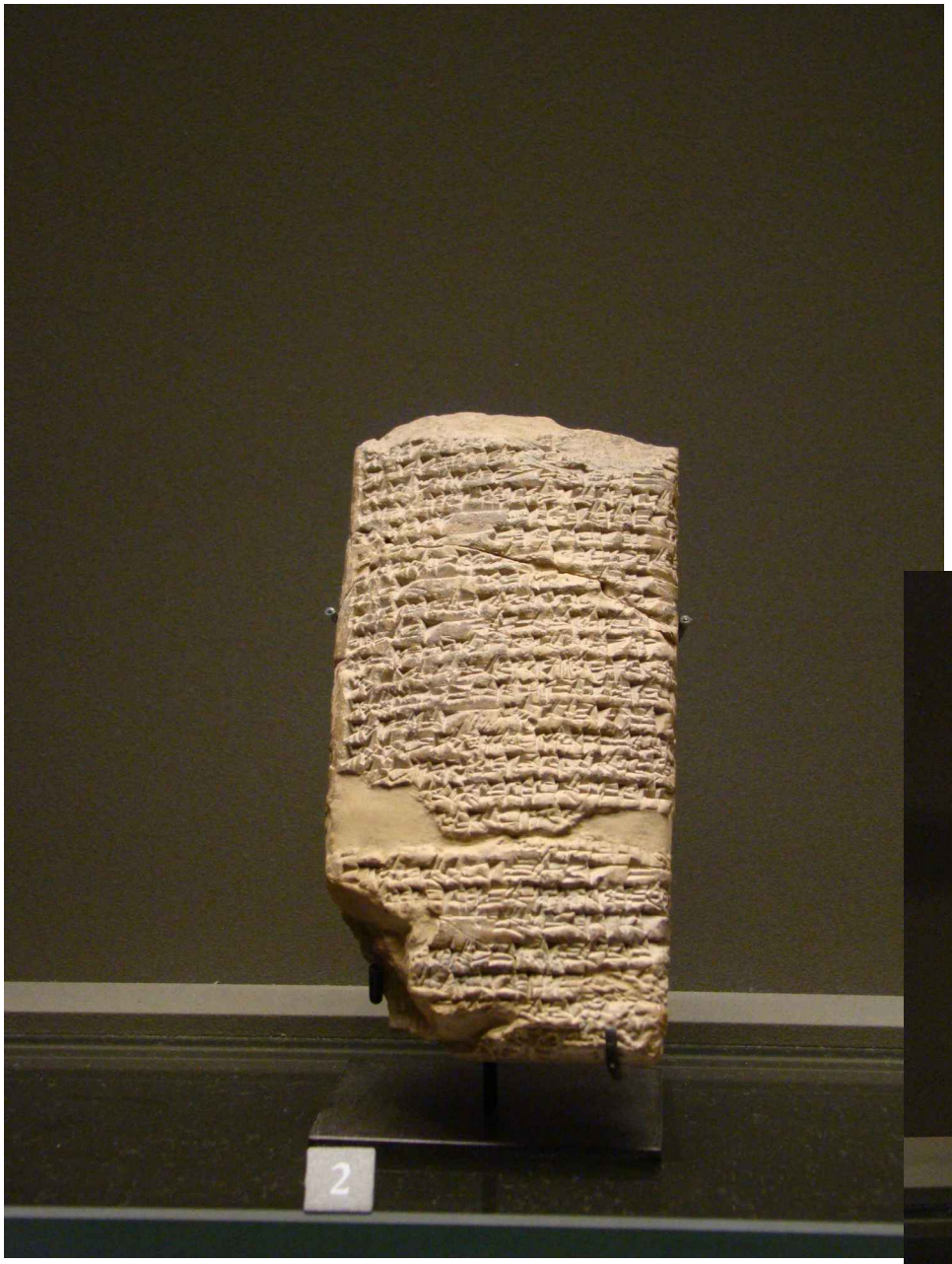
(~710 AEC, entalhe em rocha,Corsabade, palácio de Sargon II)

Museu do Louvre, Paris, 04/2012

Mesopotânia- Assíria, decoração da cidade e do palácio de Sargon II (~710 AEC)

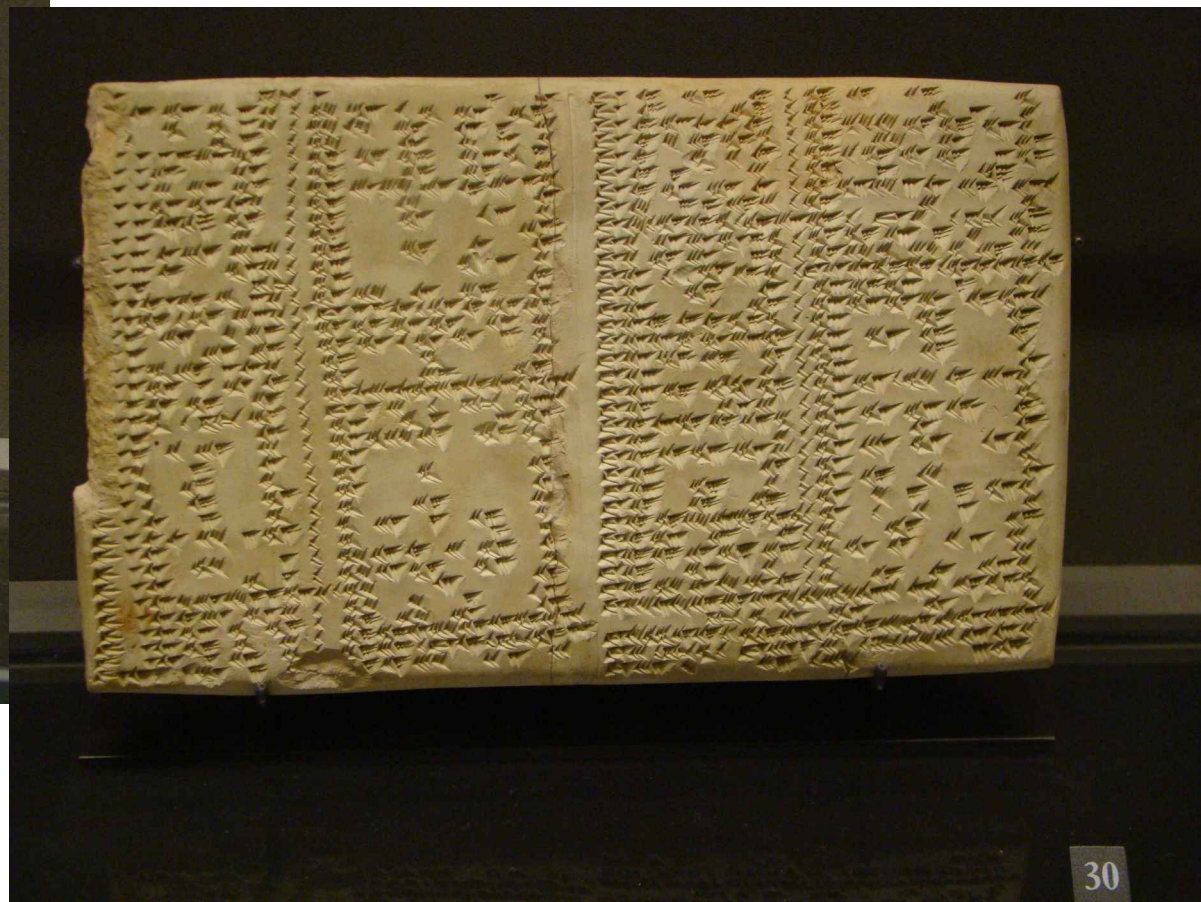
Museu do Louvre, Paris, abril/2012

Primeira Escrita: cuneiforme ~3100 AEC (sumérios, acádios, amoritas)



2 – Mito cosmológico sumério evocando o nascimento da vegetação e a lenda da árvores e do caniço (~2.050 AEC)

30 - Tabela de divisões e conversão de frações (300 a 140 AEC)

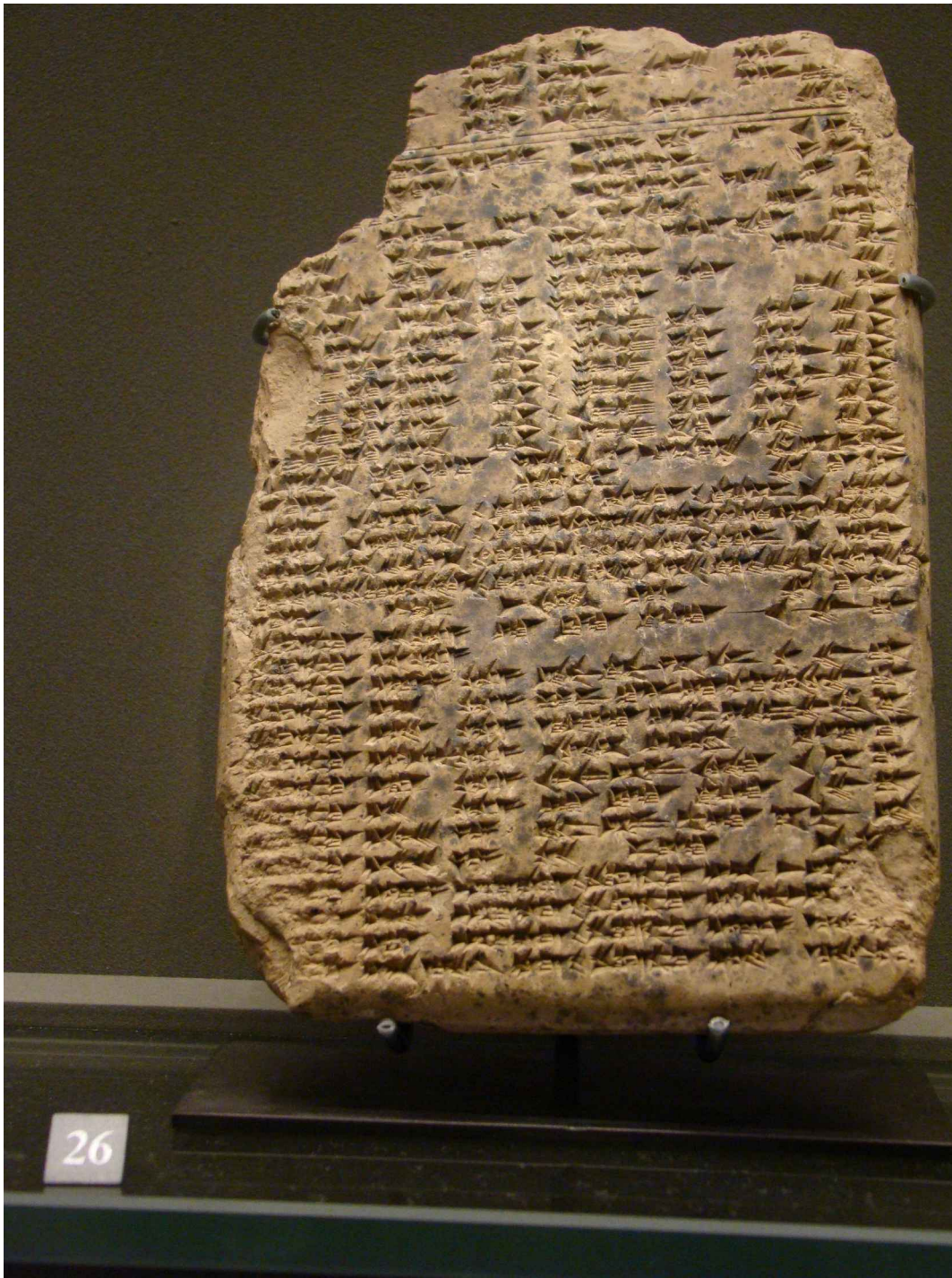


Museu do Louvre, Paris, abril/2012

1 – Mito arcaico da criação, evocando o casamento do céu e da terra no momento da sua separação, antes da criação dos deuses, dos corpos celestes e da vegetação (~2.750 AEC)

Museu do Louvre, Paris, abril/2012

26 – observações astronômicas e horóscopo (300 a 140 AEC)



Domesticação de animais

(o que tem a ver com energia?)

- **Alimento**

- **"novo motor"**
- aprendeu-se a utilizá-lo (discipliná-lo)

Mulas – III milênio (Capadócia – Ásia Menor)
Cavalos – II milênio (Oriente Próximo)
Camelo – fim do II milênio (Oriente Médio)

Transporte no dorso permitia pequena carga unitária
Roda minimizou problema e permitiu atrelar mais de um animal a um único veículo
(Uruk - Mesopotânia)

Uso limitado porque tinha custos energéticos relativamente elevados

(Santorini, Grécia, 26/março/2012)

Energia da Água e Vento + importante para transportes

Energia da Água – apenas de montante a jusante (a favor da correnteza)
Vento – substitui ou apoia a força muscular para movimento no sentido oposto ao fluxo das águas.

Foi necessário tecnologia para transpor a força do vento para a direção do movimento desejado para o barco.

(Museu d'Història de Catalunya, 03/abril/2012)

Navegação Marítima é mais complexa.
Apesar de tributária do regime de correntes e ventos abriu imensa rede de circulação.

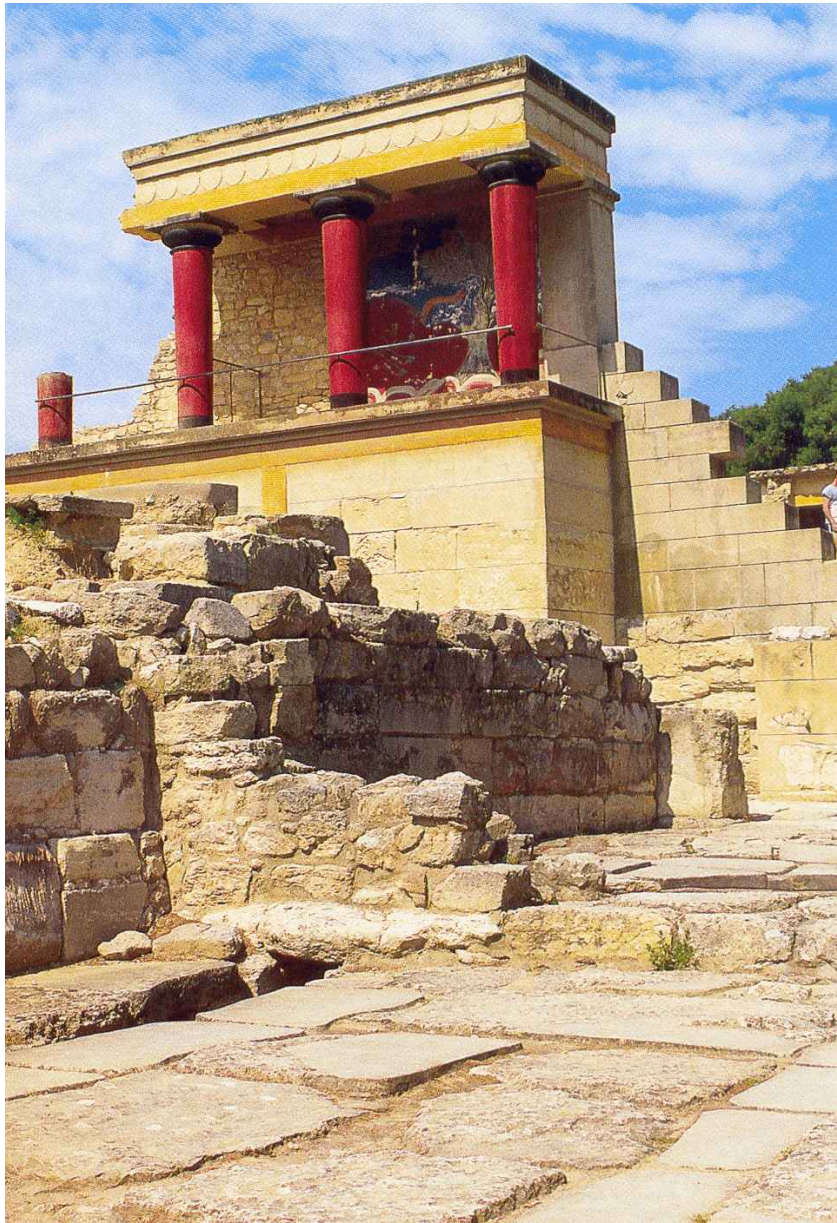
Estas formas de energia **não concorrem com a disponibilidade de alimentos**.

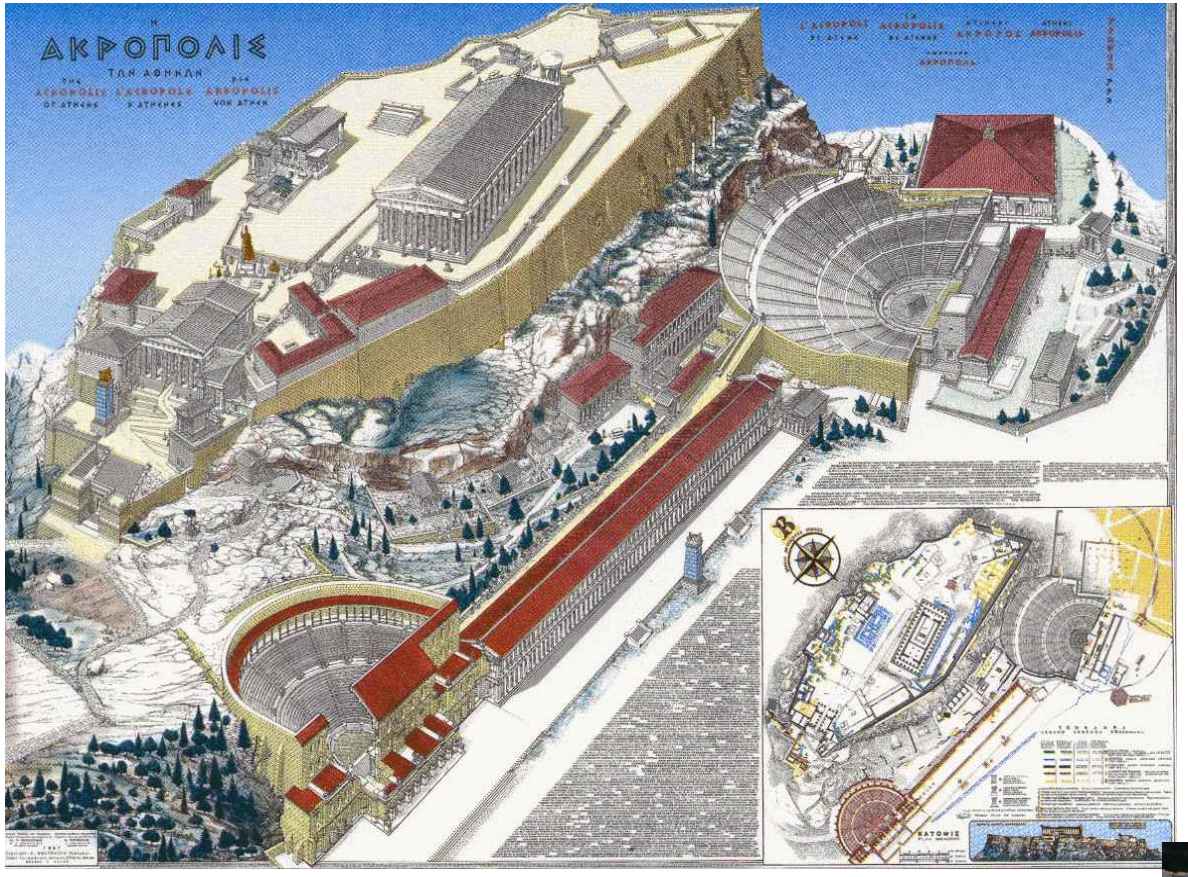
Grécia(~600AEC) – Atenas
(Acrópole vista da Ágora)

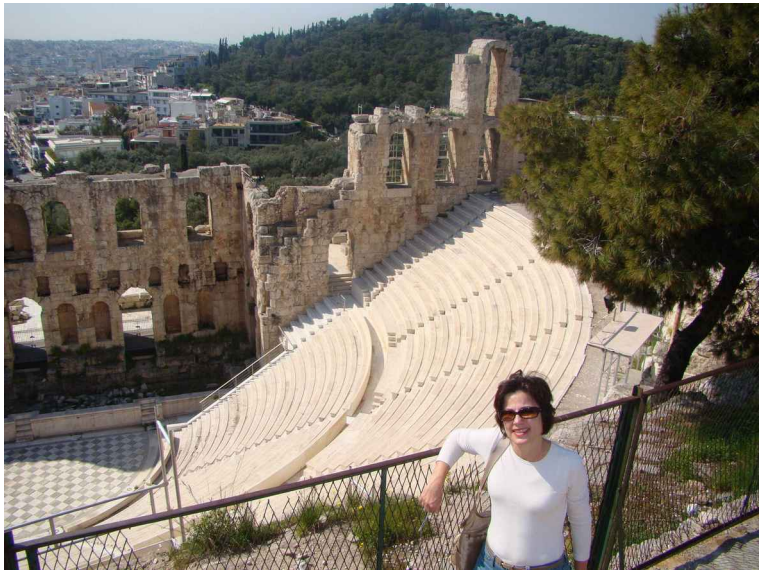
Gregos abriram uma grande rede marítima no Mediterrâneo

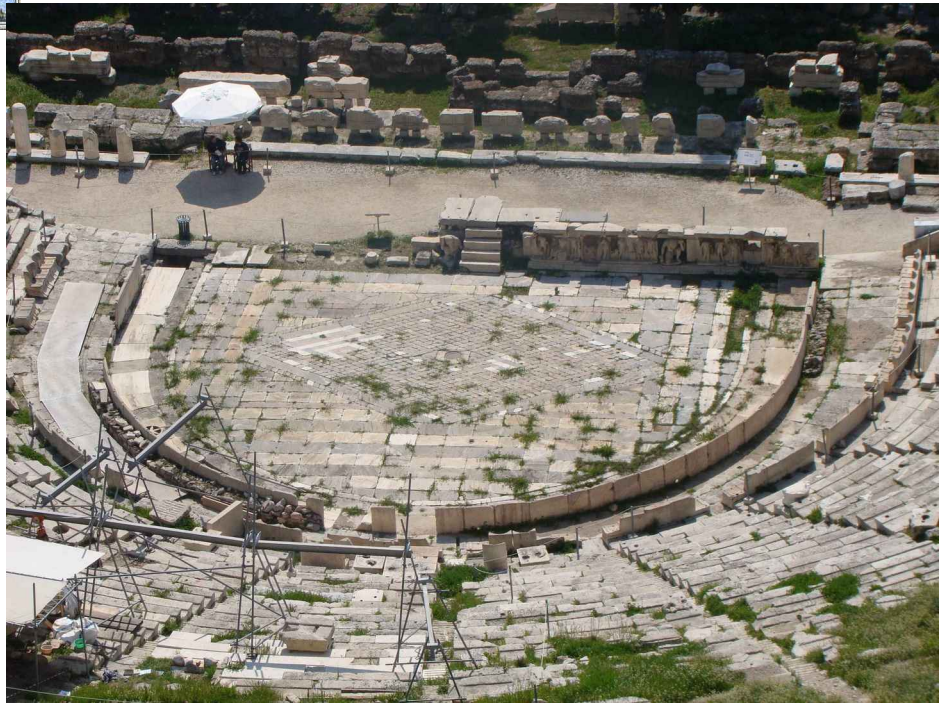
+ uso de animais
+ escravidão

Creta ~2000AEC)
Grécia(~1300AEC)
minóicos
(Knossos - Creta)







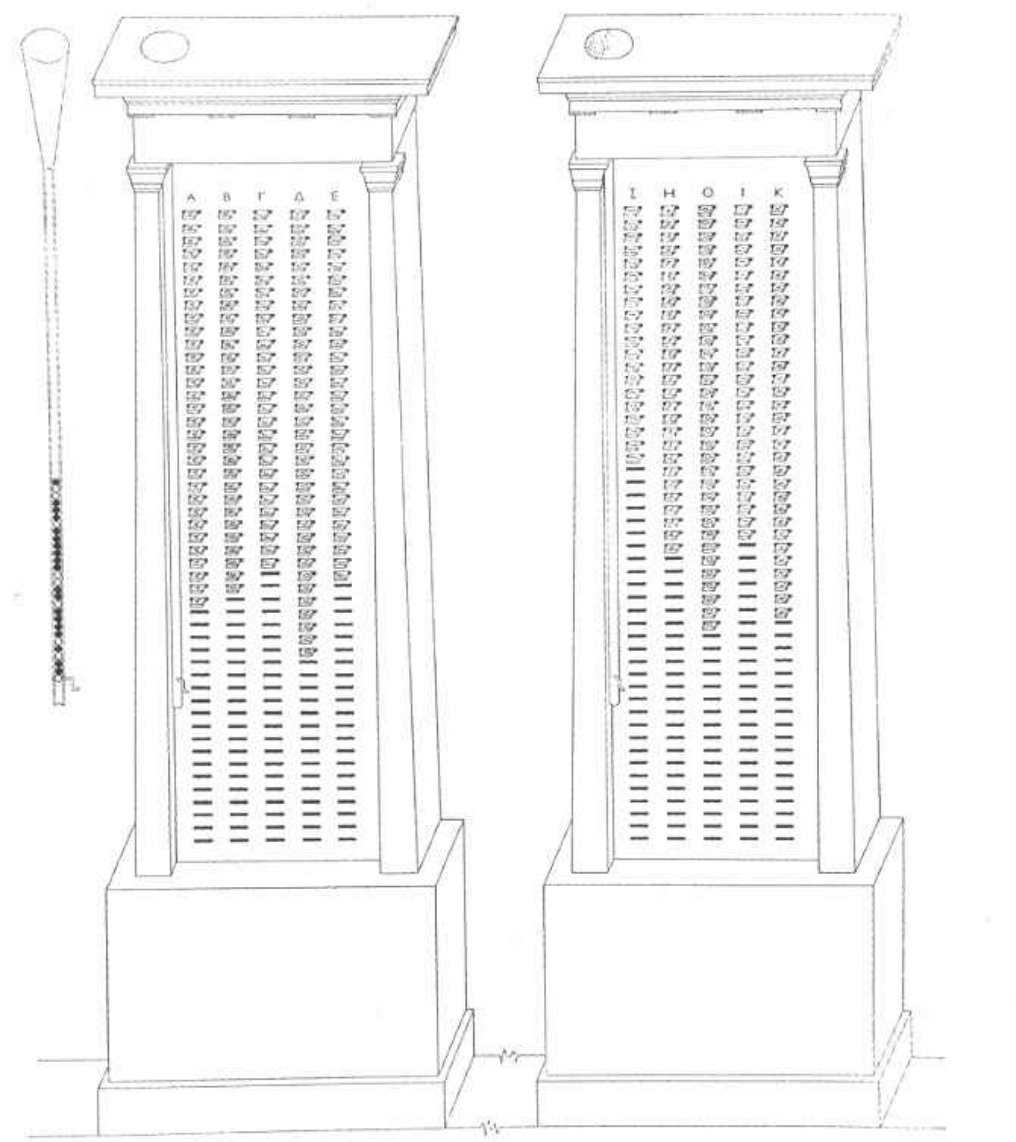


(Anfiteatros – Acrópole, Atenas, Grécia, 22/março/2012)

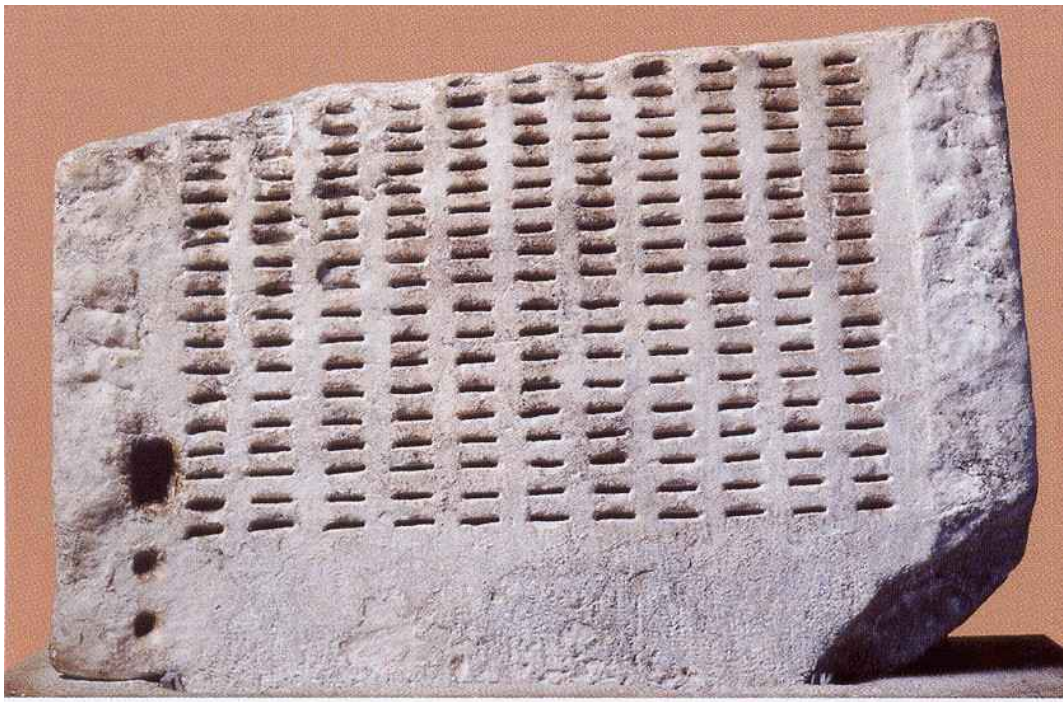
Ostracismo

21. Ostraka cast against Aristeides, Themistokles, Kimon, and Perikles, fifth century B.C.

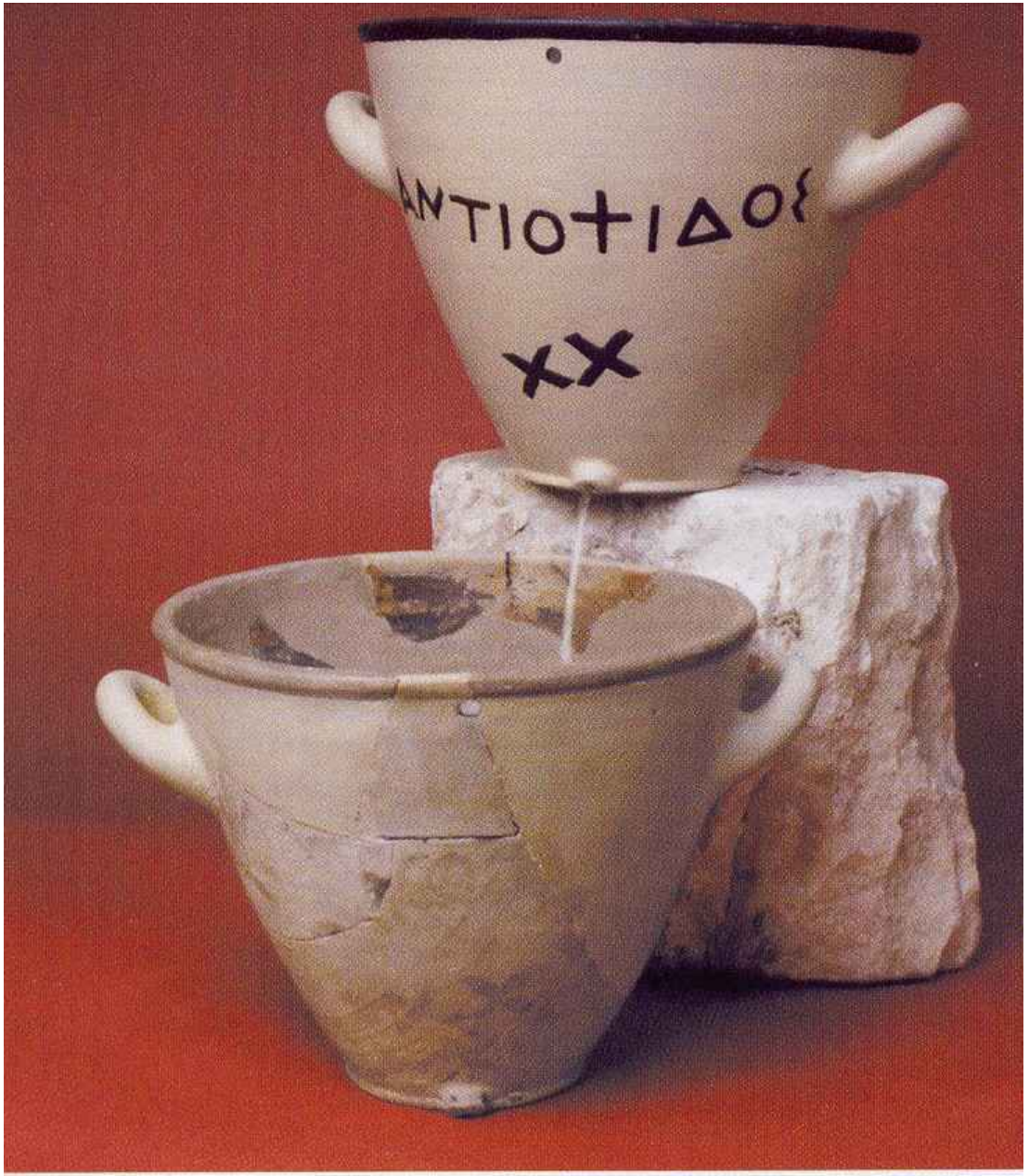
22. Ostraka: "Kallixenos the traitor" and "Out with Themistokles"



28. Restored drawing of allotment machines



27. Allotment machine (kleroterion), third century B.C.



MODEL OF A KLEPSYDRA IN ACTION

Degradação ambiental <=> produção agrícola e pecuária

Instabilidade crônica entre produção (cereais) e consumo.
Produtores agrícolas optam por vinhas e oliveiras -
geram mercadorias mais especializadas
(vinho e óleo de oliva)

Estado Grego é o primeiro a optar por buscar produtos básicos além-mar

- Mantém frota de guerra p/ assegurar livre acesso a seus portos.
- Economia internacionalizada -

pela primeira vez na história da humanidade uma economia passa a depender da importação de bens energéticos como a madeira (Líbano) e gêneros alimentares.

(o que isso tem a ver com o sistema energético Grego?)

Gregos experimentam notável desenvolvimento técnico

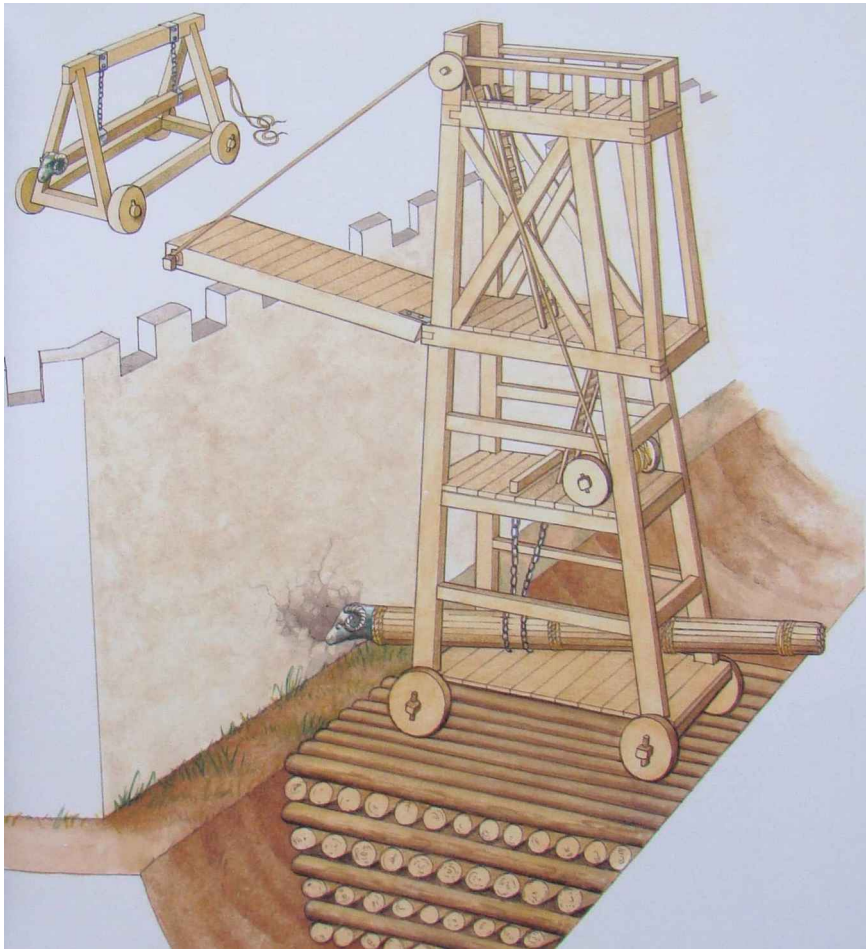
trirreme – navio que combinava velejamento de cruzeiro com a força de 170 remadores nos momentos de combate.

Mecanicismo (conhecimento das cadeias cinemáticas, séculos VI e V, AEC): parafuso, polia, rodas dentadas e engrenagens, permitiram técnicas mecânicas p/ construção de máquinas de guerra e aparelhos de elevação de cargas nos portos e minas.

Mós rotativas de eixo vertical para a moagem de grãos.

Prensas para fabricação de azeite e vinho

Aumento de eficiência no uso da energia usando a ciência (Geometria)



Energia Humana continua preponderante
(escravos, proprietários e dependentes ligados à terra, homens livres vendendo força de trabalho)

Trabalho servil é indispensável ao funcionamento da economia grega

prisioneiro ou comprado, escravo valia o mesmo que uma mula ou ½ cavalo de guerra

seriam 20 mil a 400 mil ~100 mil mais provável.

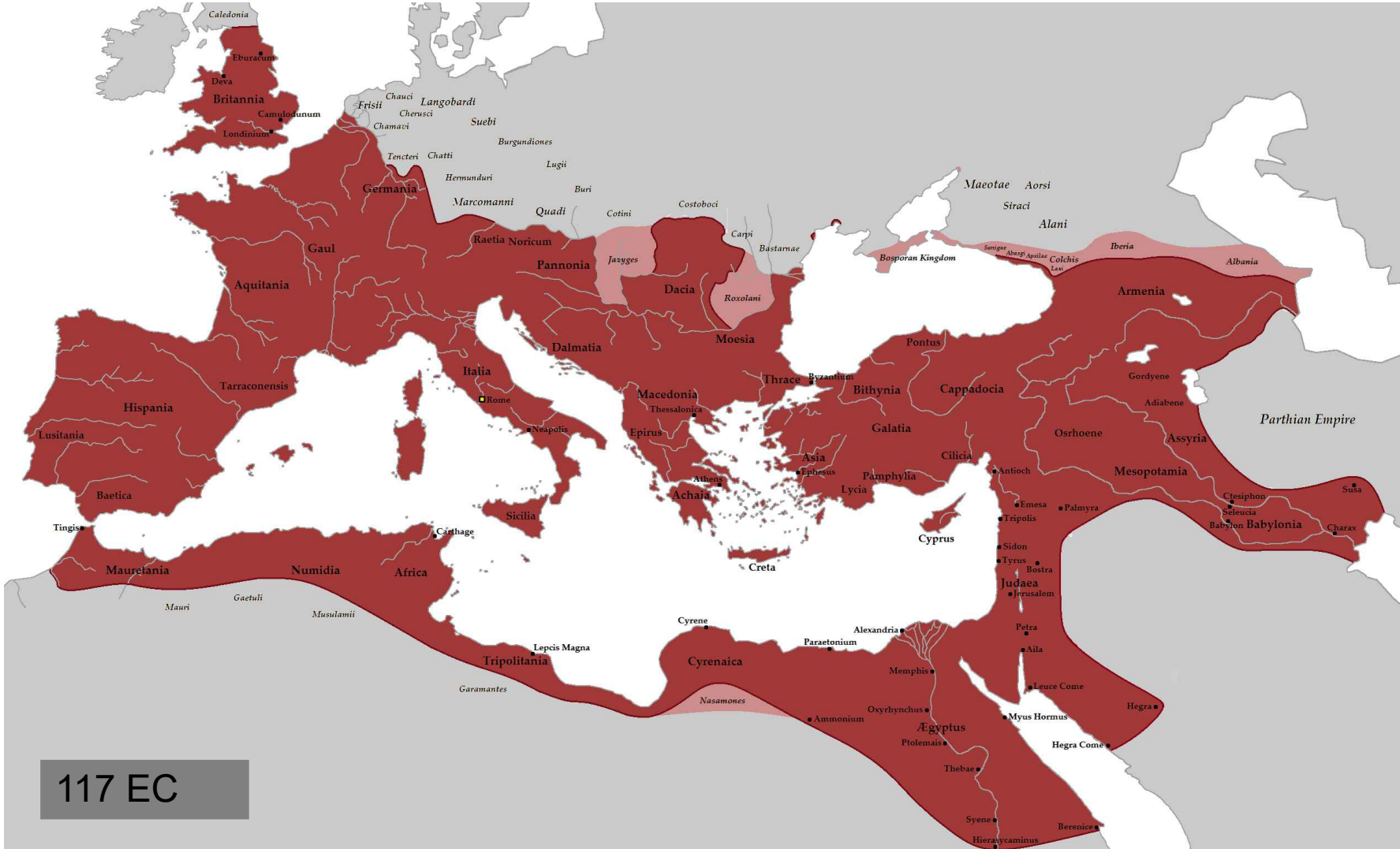
Inovação técnica não permitia transcender seus limitados recursos naturais
(Clima seco – carência de energia hidráulica/ Falta de madeira)

Conflitos armados constantes

Roma no Horizonte: domina a Grécia e absorve sua cultura

IMPÉRIO ROMANO

Controlou a área do Mediterrâneo, oeste da Europa, norte da África, parte da Ásia (durou cerca de 600 anos).



Roma sustentava-se na exploração de imensos territórios rurais: provedores de energia sob forma de escravos e alimentos (trigo).

Viabilização deste sistema:

- aperfeiçoado sistema de comunicação e transportes (terra e mar)
- controle de grande efetivo de agricultores e escravos
- exército poderoso para perenizar este vasto sistema de predação e vigiar linhas de comunicação e transportes.

(A África do Norte alimentava Roma por oito meses e o Egito fornecia trigo por quatro meses -dimensão parasitária do Estado romano).

Escravos situados como ferramentas (Catão):
“Os instrumentos são dotados de palavra, semifalantes ou mudos. À categoria dotada de palavra pertencem os escravos, à semifalante os bois, à muda as carroças.”

Dá conselhos sobre alimentação (“manual de uso”):
“...para os que trabalham nos campos, durante o inverno, quatro *modii* de trigo *triticum*, durante o verão quatro *modii* e meio; para os escravos acorrentados, durante o inverno quatro libras de pão*; quando começam a preparar o solo da vinha, cinco libras, até que as uvas comecem a aparecer; em seguida volte a quatro libras … . Para acompanhar o pão dos escravos, reserve a maior quantidade possível de azeitonas tombadas das árvores e dê-lhes *hallec*** e vinagre.”
[1 modii~6,5 kg]
[*~1 pãozinho de 50 g por dia]
[** restos de espinhas de peixe já em processo de degradação]

Guerras e repressões asseguram estoque de escravos

Escravo besta de carga ou “privilegiados” quando faziam trabalho p/ nobres (leitor,músico, arquiteto)
Eram 90% dos artesãos em Roma
Mas a maioria eram as bestas fornecedoras de força motriz – minas e bombeamento de minas, giras mós para esmagar o grão

Escravidão pareceu ser obstáculo à inovação – mecanicismo estagnou.
Somente no século IV rodas hidráulicas voltam a mover moinhos,
mas estes são mais caros que movidos a animais e homens

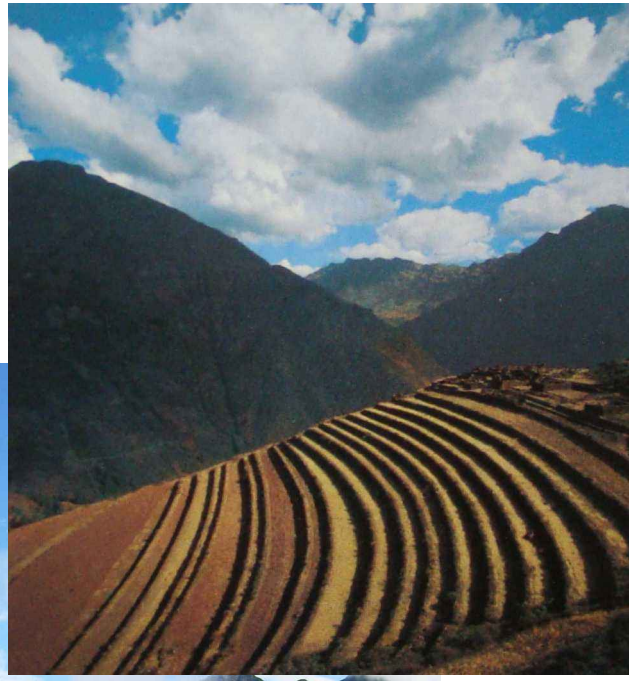
Limites do império associado ao consumo energético para manutenção das fronteiras.

Chichén Itzá 750 a 1200 EC

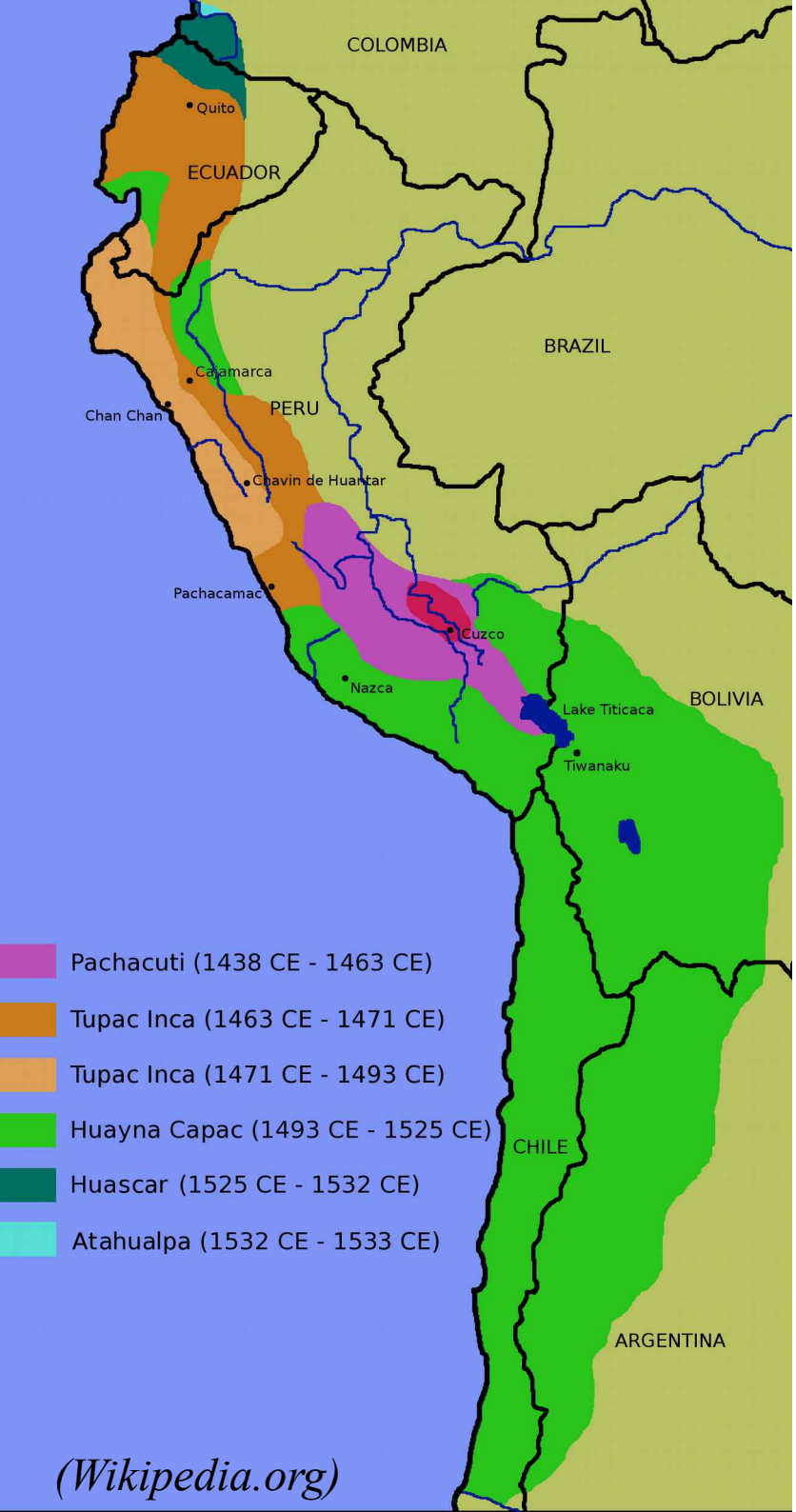
Civilização Maia,
assim como Azteca,
Intensivas em trabalho humano. Também usaram trabalho escravo.
Mas era mais associado a dívidas.

Império Inca

Teraços irrigados→



Machu Picchu ↓



(Wikipedia.org)

A cultura teotihuacana - 800 AEC a 750 EC
450 EC e 650 EC - apogeu, chegando a 200.000 habitantes.
650 EC a 750 EC - declínio e desaparecimento

(Pirâmide do Sol, Teotihuacan, México, 19/maio/2007)

Tenochtitlan (Cidade do México) ~250.000 pessoas por volta de 1450
Civilização Azteca
(Mural de Diego Rivera - Palácio do governo, Cidade do México, 18/maio/2007)

- **Mexico-Tenochitlan tinha aquedutos, ilhas artificiais (chinampas), escolas para os filhos dos nobres e guerreiros.**
- **Tinha um intenso e vigorioso comércio (mercado de Tlatelolco) com cerca de 60.000 comerciantes.**
- **Américas domesticaram: milho, batata, abóbora, mandioca, algodão, cupuaçu, tomate, peru, lhama. Terras pretas no amazonas indicam atividades agrícolas e tensa ocupação humana daquela região no período pré colombiano.**

- **Em 1519, os espanhóis encontraram civilizações desenvolvidas em vários campos do conhecimento: arquitetura, matemática, astronomia, artes.**

- **Estima-se que 25 milhões de pessoas viviam no México e que o império inca era mais populoso que a China nesta época.**

- **Estima-se que 90% dos indivíduos que compunham os povos americanos pré-colombianos foram dizimados no contato com os europeus, especialmente pelas doenças que lhes foram transmitidas.**

Mitos sobre as Américas desocupadas e cheias de florestas.

Mitos sobre equilíbrio perfeito das populações nativas com a natureza. Bisonte caçado e combatido na América do Norte (proteger milho) e há fortes sinais de que a Amazônia tinha alto índice de ocupação – regiões de floresta de hoje – pomares de ontem.

Como civilizações deste porte foram dominadas?

Cortez - 11 navios, 500 homens, 13 cavalos e um pequeno número de canhões – dominou Aztecas.

Pizarro - apenas 168 homens, 1 canhão e 27 cavalos – dominou os Incas (Tawantinsuyu)- varíola ceifou 60 a 94% da população inca.

CHINA

Conversão energética solar pela combinação de vegetais, homens e animais.

Sem escravidão

Bombas de pás para irrigação movidas por pedal (1952)
Alain Lefebre (1978) mostra permanência da primazia das energias biológicas no meio rural chinês (especialmente a energia física de homens e mulheres)

Três elementos fundamentais:

- utilização intensiva de conversores vegetais (arroz, trigo, milhete*) de alto rendimento calórico (semeados em intervalos muito próximos). Lenha como fonte de combustível.
- uso e difusão de conversores animais e de motores artificiais em função da multiplicação dos conversores vegetais.
- Energia - trabalho humano é principal forma de prover energia mecânica.

Crescimento da produtividade viabilizou crescimento populacional.

Mas sistema energético deste modelo de produção, também exige muita mão de obra

(*) - painço

- Inovações no campo do bombeamento e irrigação sem precedentes
- Melhorias de arreios animais (peitoral)
- Avanços na energia hidráulica para metalurgia, fabricação de papel, serrarias,fiação, grãos e perfumes
- Conversão de movimento horizontal em vertical, uso de bielas
- Uso da hulha para aquecimento e cocção – 30 a 40% mais barato que lenha (~1050)

O Estado foi elemento organizador deste sistema energético, sem escravidão.

Estagnação de desenvolvimento científico e tecnológico associou-se ao desequilíbrio crescente da produtividade alimentar
-fome e miséria rural (especialmente após 1920).

A partir da revolução comunista, inicia revolução científica e industrial na agricultura, aumentando produtividade mas trazendo seus impactos ambientais.

EUROPA na Idade Média

- água, vento e lenha – fontes energéticas

espoliação da lenha ~primeiro milênio

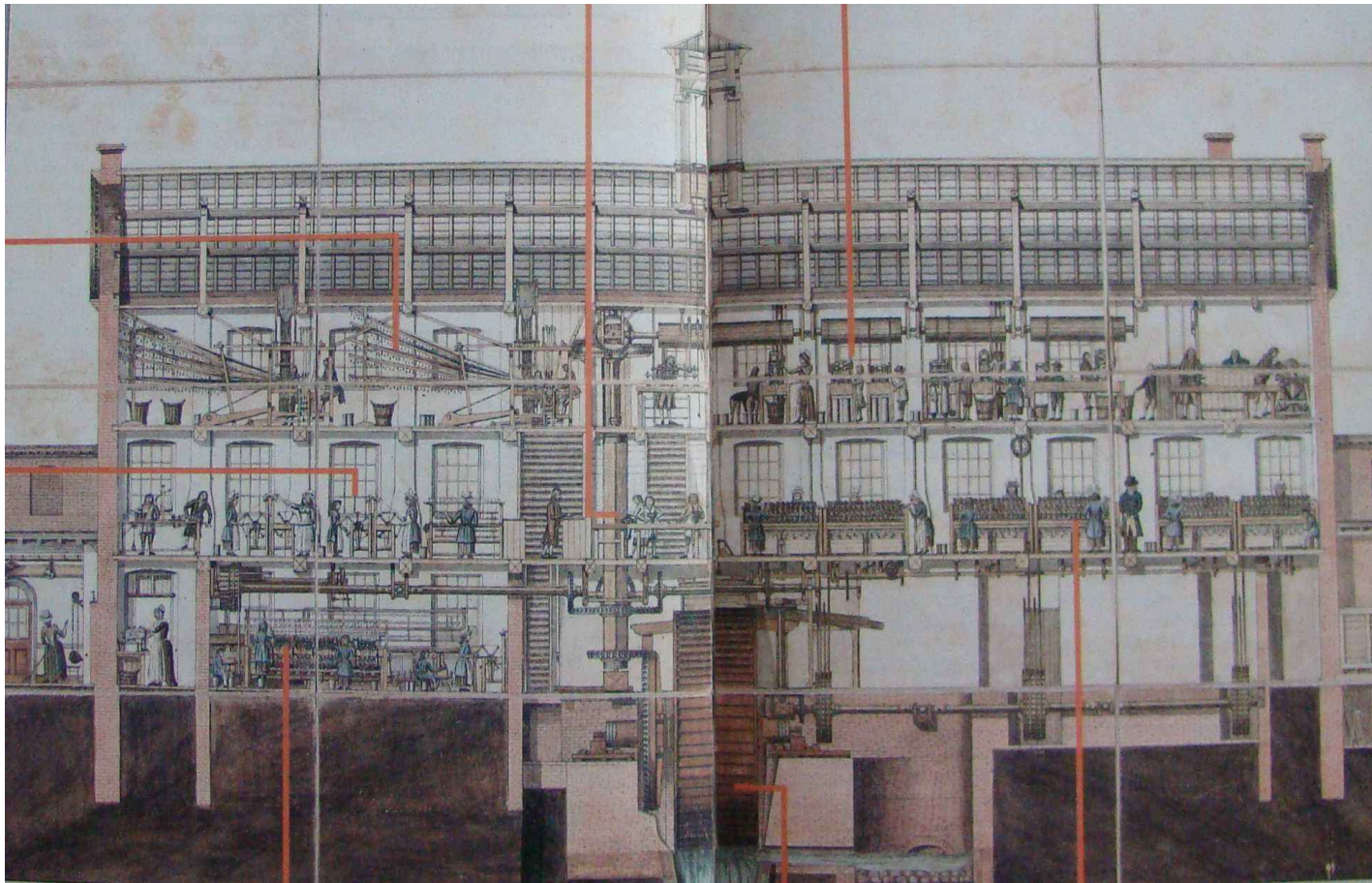
Moinhos hidráulicos controlados pelos senhores feudais – triturar grãos. Amplia exploração do camponês (banalidade)

Moinho de vento democratiza parcialmente as relações – vento não é propriedade dos senhores feudais

(Wikipedia.org)

•Uso da energia dos moinhos por artesão prepara o surgimento da economia capitalista
Preparação de tecidos, martelo hidráulico fole p/forjas (viabilizou aço) etc

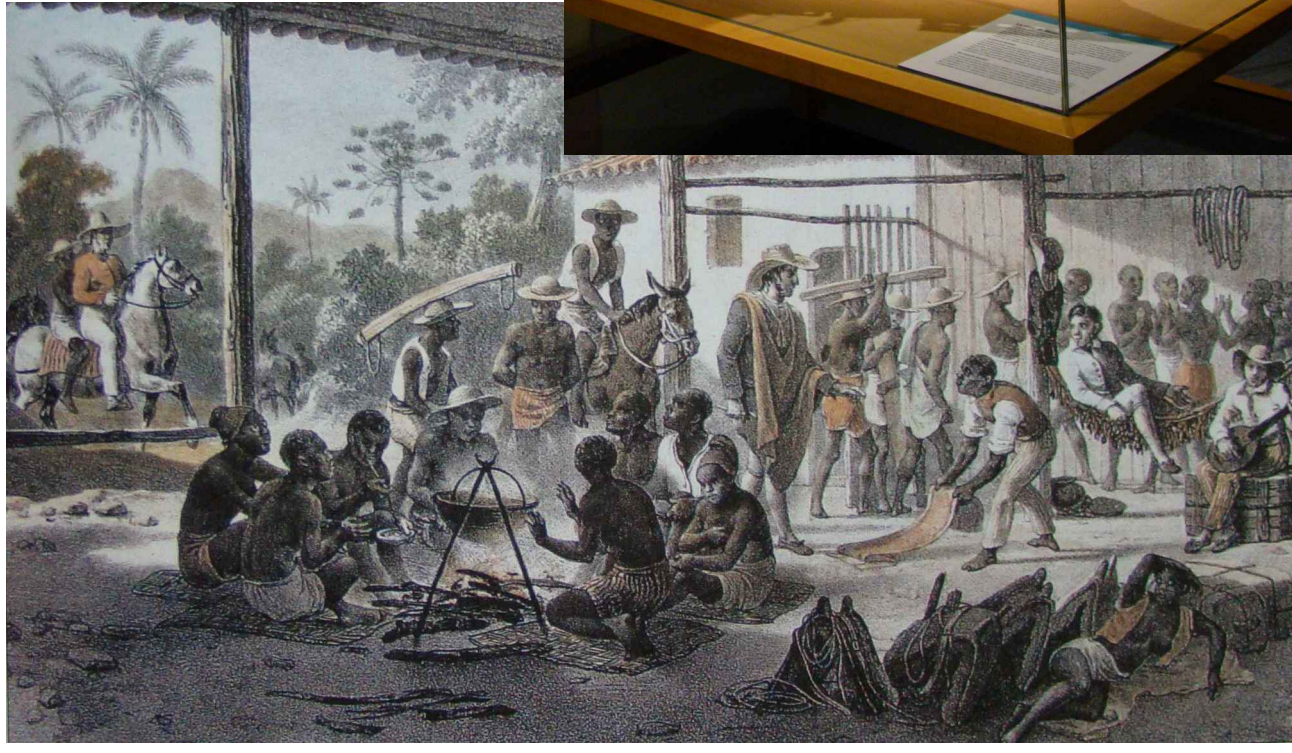
•Esgotamento da madeira e locais hidráulicos



• Transporte: baseado no transporte a vela (não concorre com alimento).
•Há enorme expansão das frotas marítimas para exploração das colônias

•Escravagismo é novamente adotado
~10 milhões de escravos negros para as Américas,
3,6 a 5 milhões no Brasil.

•Em São Paulo os Bandeirantes capturam índios para usá-los como escravos.



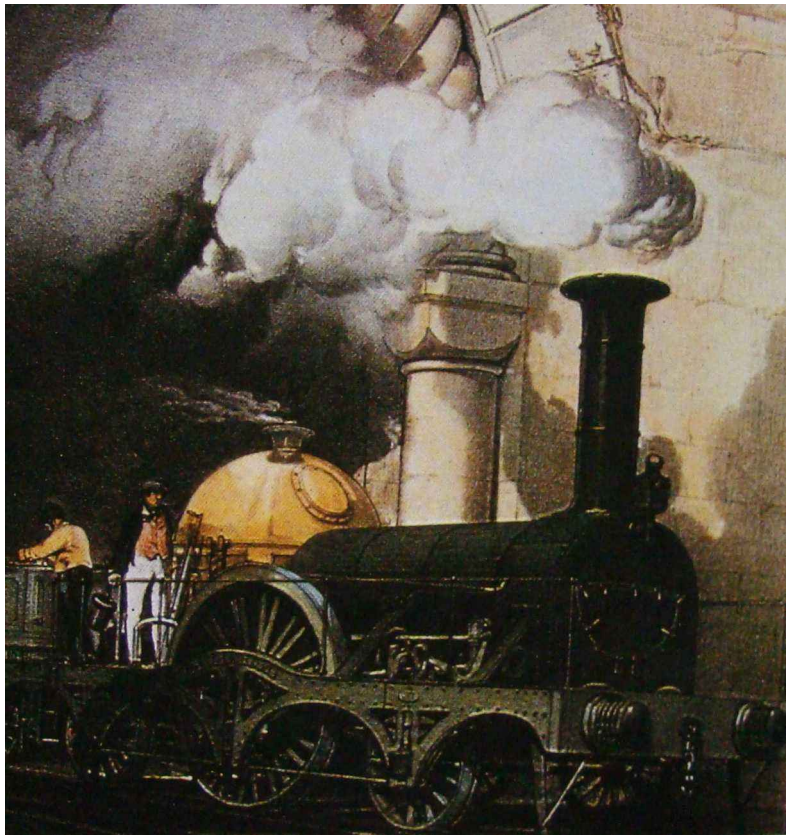
Revolução Industrial

- Capitalismo produz ruptura com sistemas energéticos anteriores

- Cessa primazia da energia biológica, instaura-se o domínio das energias fósseis.

- Produção libera-se das margens dos rios. Ganha fluxo contínuo de energia.

Evolução do Processo de Combustão
Feudalismo → Capitalismo



- Lenha, palhas e esterco seco representavam a principal fonte de energia térmica.

- Lembramos que as florestas foram rareando próximo aos centros urbanos e que por volta de 1700 toda madeira da Inglaterra estava essencialmente cortada.

- carvão mineral firmava-se uma fonte indispensável ao crescente consumo de energia térmica.

- 1698 - construída primeira máquina a vapor
- 1712 - usadas para bombear água de minas
- 1769 - James Watt patenteia sua máquina mais eficiente.
- Primeiro poço de petróleo na Pensilvânia-EUA, em 1859.
- 1898 – início da comercialização de motores diesel (rendimento ~30%)
- Petróleo ultrapassou o uso do carvão por volta de 1962.

Redes de Energia de Iluminação

Novos sistemas energéticos permitiram aumentar produção do trabalhando.
Mas permanecia limitado pelo rito dia/noite.
Desenvolveu-se sistema de iluminação artificial.

“Há, portanto, uma extrema vantagem em fazer operar infatigavelmente os mecanismos, reduzindo a menor duração possível os intervalos de repouso: a perfeição nesta questão seria trabalhar sempre”, com os operários “levados pelo motor mecânico a um trabalho prolongado, a um trabalho contínuo, de dia e de noite, aproximando-se cada vez mais do movimento perpétuo.”
(Barão de Dupin em relatório à Câmara de Paris, 1847)

1802 – Inglaterra passa a instalar iluminação a gás, primeiro nas oficinas e fiações, somente mais tarde para ruas e residência. Petróleo iluminante também foi usado a partir da exploração de jazidas em 1859.

•1878 – Thomas Edison inventa a lâmpada. Eletricidade deixa de ser curiosidade de laboratório, tornando-se forma de energia economicamente viável.
•Ele não inventou simplesmente técnicas e processos - propôs e procedeu a comercialização de um sistema completo. Primeira experiência iluminou a área de Wall Street.
•Organizou a Edison General Eletric para explorar suas patentes.
•1881 -Associou-se aos irmãos Siemens para fazer primeira rede europeia
•1886 – transferiu quartel general para Berlim (AEG)
•1878 – Werner Siemens apresenta primeira ferrovia eletrificada
•1894 – Tesla inventa alternadores polifásicos, desenvolvendo em seguida os motores a corrente alternada.

A eletricidade possibilita diversificar as fontes de energia primária para gerá-la, liberando as indústrias do vínculo com os conversores centrais – fossem eles as turbinas hidráulicas, as máquinas a vapor ou os motores a combustão interna que estavam sendo desenvolvidos.

.

Indústrias libertam-se quer do transporte e manipulação do carvão, quanto das variações de vazão dos cursos d'água.

Reduziu enormemente as perdas na distribuição

ENERGIA NUCLEAR

Subproduto da pesquisa e da tecnologia bélica

“Barateia” produção de ogivas nucleares

Distribuição Percentual do Consumo Energético por tipo de fonte

(ano de 2012) (Energy Information Administration, 2014)

86,3% das fontes energéticas consumidas pela Humanidade são de origem fóssil

Bloco ou País	Petróleo	Gás Natural	Carvão	Hidro e Renováveis	Nuclear	Outras
Mundo	34,6	23,7	28,0	3,1	1,5	9,1
Estados Unidos	36,4	27,4	18,2	5,3	2,8	9,9
América do Norte	37,2	27,9	16,1	8,0	2,5	8,3
Europa	36,5	23,6	16,8	12,2	3,6	7,3
Países desenvolvidos	37,8	25,0	18,3	3,2	2,8	6,2
Europa Oriental e ex-União Soviética	21,6	43,8	22,4	2,0	2,0	8,3
Países em desenvolvimento	32,2	22,6	35,4	3,0	0,55	18,9
Ásia em desenvolvimento	26,8	16,1	55,4	2,9	0,36	0,0
Oriente Médio	51,3	48,1	1,7	0,66	0,01	0,0
África	42,6	27,3	25,5	1,1	0,24	3,3
América do Sul e Central	49,6	19,6	4,0	25,7	0,25	0,80
China	19,7	5,0	65,8	9,0	0,30	0,13
Brasil	49,5	9,4	4,2	35,5	0,43	0,90
Brasil (BEN)	41,6	9,9	1,0	46,0	1,5	0,0

Problemas associados ao uso de Combustíveis Fósseis:

19/11/2002
Costa da Espanha e Portugal

22 14:50

Av. Paulista
Bela Vista
Centro
SAÍDA 600 m
R. Tutóia
Paraíso
Bom
NGOV
a você!
TAXI

POLUENTES CLÁSSICOS

SO_2 e partículas, têm longa série histórica de medida pela associação com combustíveis fósseis.

CO, NO_x, Orgânicos Voláteis (VOC), partículas na atmosfera, o smog fotoquímico e o O_3 , sofreram grande incremento após uso dos combustíveis derivados do petróleo.

CO_2 e CH_4 têm grande potencial de impacto sobre mudanças no efeito estufa.