

MUSEU DA CANA – INSTITUTO CULTURAL ENGENHO CENTRAL

APONTAMENTOS – OBJETOS DO ENGENHO

Elisabeth Zolcsak
Comambi Projetos
agosto/2015

Apresentação

Esse documento traz anotações sobre os objetos do engenho do Museu da Cana, agrupados pelas etapas do processo de produção de açúcar, incluindo aspectos históricos e técnicos.

Tem como objetivo situar os objetos em espaço e tempo e indicar alguns dos temas correlatos, com a intenção de ser um dos subsídios para as atividades de preservação/documentação, pesquisa e comunicação do Museu da Cana.



Sumário

Vocabulário	3
Cana-de-açúcar	4
Açúcar	5
Indústria de extração	5
Cana-de-açúcar e engenhos no Brasil	6
Engenho Central - Usina Schmidt	7
Processo de produção de açúcar	8
Processo de produção de álcool	8
História do processo de produção de açúcar	9
Mecanização na produção de açúcar	11
Mecanização nos engenhos do Brasil	13
Passagem do século XIX para o século XX – 1890-1910.....	15
Engenho do Museu da Cana (Engenho Central-Usina Schmidt).....	17
Objetos do engenho por etapas do processo de produção de açúcar	19
Recepção de cana-de-açúcar	19
Balança	19
Ponte rolante	20
Extração de caldo.....	21
Moendas.....	21
Acumuladores hidráulicos	23
Trens de engrenagens	24
Volandeiras.....	24
Purificação - Decantadores.....	25
Evaporação	25
Evaporadores	26
Bombas de vácuo	27
Cristalização.....	28
Cozimento - Cozedores.....	28
Resfriamento - Resfriadores	29
Centrifugação - Centrifugadores.....	30
Secagem - Secador	30
Ensacamento - Ensacador	31
Geração de vapor e transformação de energia	33

Energia.....	33
Vapor.....	35
Caldeiras de vapor	35
Máquinas a vapor	38
Máquinas a vapor e fluxos no engenho	40
Máquinas simples	41
Transmissão de rotação em rotação	42
Eletrificação	45
Bibliografia	48
Lista de desenhos técnicos	51
Links	52
Linha de tempo - 100 marcos	53

Vocabulário

Instrumento / Utensílio / Ferramenta – qualquer objeto utilizado para trabalho

Equipamento / Aparelho – conjunto de instrumentos ou peças para executar uma atividade

Máquina – instrumento ou aparelho destinado a produzir ou comunicar uma força

Maquinaria – conjunto de máquinas

Instalação – conjunto de peças que compõem uma unidade



Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é planta da família botânica das gramíneas (Poaceae), como o arroz, trigo, milho e bambu. Encontrada no sudeste da Ásia, foi levada a outras partes do mundo na época das grandes navegações.

É planta vascular, com flores em inflorescências, frutos secos e sementes. As raízes são do tipo touceira. O colmo (caule) é cilíndrico, ereto e fibroso, constituído de nós e entrenós. Em cada nó, há uma gema, protegida por bainha de folha.

As folhas são verdes, alongadas, com lâmina e bainha (parte inferior), estão fixas aos nós dos colmos em distribuição alternada oposta e têm as funções de respiração e de fotossíntese.

Nos colmos, possui de 85 a 90% de caldo e de 10 a 15% de fibras. O caldo é composto de 75 a 82% de água e de 18 a 25% de sólidos solúveis (brix), correspondendo ao açúcar (principalmente sacarose) e outras substâncias.

Em cultivos comerciais, a cana-de-açúcar é propagada assexuadamente, através de partes do colmo, com 2 ou 3 gemas. O crescimento é diverso, dependendo da variedade, da época de plantio e das condições ambientais. Cresce de 2 a 4 entrenós por mês, cada entrenó tendo de 10 a 15 cm.

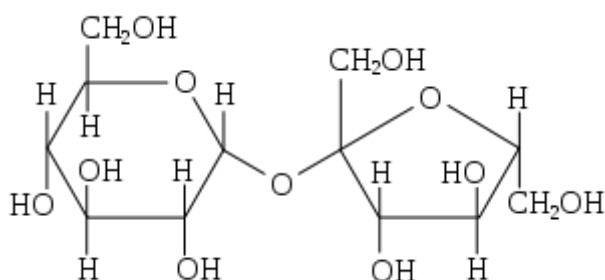
De modo geral, cada plantio permite 5 cortes, o primeiro em 12 ou 18 meses. A parte utilizada da planta é o talo (colmos), que contém o caldo de cana para a produção de açúcar e de álcool.

Uma colheita de 60 mil quilos por hectare é considerada boa. Se dividida, essa colheita dá cerca de 4 mil quilos de açúcar e 2 mil litros de álcool.

Açúcar

O açúcar é obtido da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ou da beterraba açucareira (*Beta vulgaris*). Em regiões tropicais e subtropicais, cultiva-se a cana; em regiões de clima temperado, é utilizada a beterraba açucareira.

Açúcar é a sacarose extraída dessas plantas por processos industriais adequados. Quimicamente, açúcar é carboidrato, com fórmula molecular $(CH_2O)_n$. Carboidratos são encontrados na forma de monossacarídeos, dissacarídeos ou polissacarídeos. A sacarose é um dissacarídeo formado por glicose e frutose.



Sacarose

Indústria de extração

Um engenho ou usina de açúcar é uma indústria de extração, uma vez que o açúcar já está na cana, dissolvido no caldo da planta. Esse caldo é extraído e o açúcar é somente concentrado no processo de produção que envolve etapas físicas e químicas.

O açúcar já foi símbolo de riqueza e luxo e grande agente da história. Causou conflitos e alianças internacionais, derrubada de matas, poluição de águas, solos e ar, deslocamento de populações humanas e grandes investimentos.

O sabor doce só era conhecido do mel, mas foi com a cana-de-açúcar, plantada, a partir do século XVI, nas Antilhas, depois no Brasil, sul dos Estados Unidos, Austrália, em seguida em alguns países da Ásia e África, que se difundiu no mundo.

Nos séculos XVIII e XIX, a produção de açúcar de cana foi parte da competição econômica e política entre franceses e britânicos. A independência das colônias favoreceu o açúcar de beterraba na Europa, nos séculos XIX e XX, que passou a dividir espaço com a cana-de-açúcar.

Cana-de-açúcar e engenhos no Brasil

A cana-de-açúcar foi a primeira grande lavoura no Brasil. Nos anos de 1500 e 1600, o açúcar foi o principal produto brasileiro, vendido para a Europa a partir de engenhos em Pernambuco, Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo.

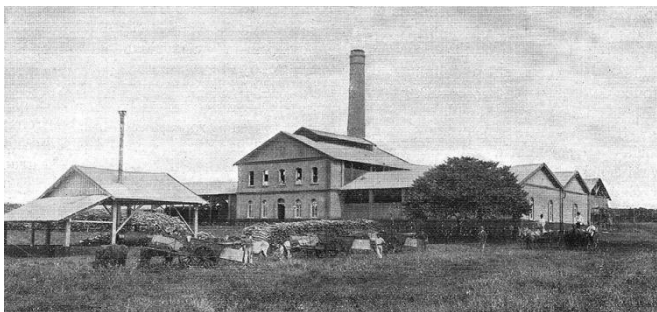
No começo dos anos de 1800, o açúcar brasileiro voltou a ser comprado pelos europeus. Até 1840, a cana-de-açúcar liderou a economia do Oeste paulista. Em seguida, o café se tornou o principal produto de exportação dessa região, mas a cana permaneceu em São Paulo, pois havia um grande mercado consumidor de açúcar e álcool formado com a vinda de imigrantes.

Engenho é a denominação de uma lavoura com fábrica para tratar as colheitas. É também a denominação do conjunto de instrumentos para preparar os produtos da cana: açúcar e álcool.

Até 1875, havia engenhos de banguê, que tinham moendas a tração por bois ou homens, a roda de água ou a vapor, e tratavam suas próprias colheitas. A partir daquele ano, surgiram no Brasil, incentivados pelo governo, muitos outros engenhos chamados de engenhos centrais, pois recebiam ou centralizavam a colheita de várias lavouras.

Nos engenhos centrais, havia separação entre as lavouras e o setor industrial, além de novas máquinas substituindo a tração animal. No estado de São Paulo, vários engenhos centrais foram formados por fazendeiros, porém sem essa separação entre lavoura e fábrica, apesar de haver compra de cana de lavouras vizinhas para processar.

Na República, iniciada em 1889, lavouras e fábricas foram unidas de novo, tendo um mesmo proprietário. A denominação engenho central foi utilizada até 1909, mas já eram usinas, como foram chamadas em seguida, sendo que havia, na época, cerca de 180 no país.



Engenho Central de Francisco Schmidt - Almanach Illustrado de Ribeirão Preto, 1914 (cf. Calsani, 2010)



Engenho Central - Usina Schmidt

Esse engenho está localizado no município de Pontal, estado de São Paulo, que foi distrito do município de Sertãozinho de 1907 a 1935. Como foi instalado antes da criação de Pontal, é conhecido como Engenho Central de Sertãozinho e também como Usina Schmidt.

Fachada da Usina Schmidt (foto de Marco Aurelio Esparza)

Começou a funcionar em 1906 e foi equipado com maquinaria escocesa e francesa de fim dos anos de 1880. A arquitetura da edificação principal tem o padrão industrial britânico daquele período, com galpão amplo, tijolos aparentes e ornatos simples. Há construções auxiliares feitas em datas diferentes, até por volta de 1950.

Pertenceu a Francisco Schmidt, um dos maiores fazendeiros de café da época, nascido em 1850 na Alemanha. Chegou ao Brasil ainda criança e, aos 40 anos, comprou a fazenda Monte Alegre em Ribeirão Preto, onde passou a morar. Financiado pela firma Theodor Wille, adquiriu outras fazendas. Foi nomeado coronel da Guarda Nacional em 1901, teve 8 filhos e viveu até 1924.

Na década de 1960, o Engenho Central - Usina Schmidt foi comprado pelo empresário Maurílio Biagi e, como Companhia Agro Industrial Engenho Central, passou a ser base de apoio da Usina Santa Elisa, além de ter alguns períodos de produção de cachaça. As atividades cessaram em meados da década de 1980.

Luiz Lacerda Biagi, filho de Maurílio Biagi, herdou a propriedade e preservou o patrimônio histórico formado pelas edificações e equipamentos, já com a intenção de implantar um museu. Fundou, em 2006, o Instituto Cultural Engenho Central para apoiar essa iniciativa.



Em 2013, concluídas as primeiras etapas de intervenções para salvaguarda do patrimônio e adequações, o Museu da Cana foi aberto para visitação pública.

Instituto Cultural Engenho Central - Museu da Cana

Processo de produção de açúcar

– extração de caldo – purificação – evaporação – cristalização – centrifugação – secagem

A extração de caldo da cana-de-açúcar é feita em moendas ou, mais recentemente, por difusão. Em torno de 20% do caldo é açúcar solúvel em água. O resíduo produzido na etapa de extração é o bagaço, que, a partir de 1850, passou a ser combustível de caldeiras de vapor.

A purificação do caldo para retirada de impurezas ocorre por filtração e decantação com auxílio de substâncias químicas, como cal e compostos sulfurosos (que contém enxofre).

A evaporação em evaporadores concentra o caldo clarificado, isto é retira água do caldo, formando um xarope. Continua nos cozedores, onde se forma uma massa cozida.

A cristalização é a formação de cristais de açúcar. É a separação da sacarose em forma de cristais envolvidos numa solução açucarada chamada de mel. Ocorre nos cozedores e, em seguida, nos resfriadores.

A centrifugação da massa cozida, em centrifugadores, separa os cristais de açúcar da parte líquida ou mel.

A secagem retira a umidade que ainda resta em volta dos cristais de açúcar para permitir a estocagem e o ensacamento sem formação de bolores.

Processo de produção de álcool

– obtenção de caldo concentrado – fermentação – destilação

Para produção de álcool, o caldo, o xarope (caldo concentrado) ou o mel que sobra na etapa de cristalização é fermentado por microrganismos que transformam açúcar em álcool, formando um vinho. Esse vinho é aquecido para a evaporação do álcool que é retido e resfriado para voltar a ser líquido, num processo chamado de destilação.

Destilaria ou alambique é o local ou o aparelho para destilação de álcool.

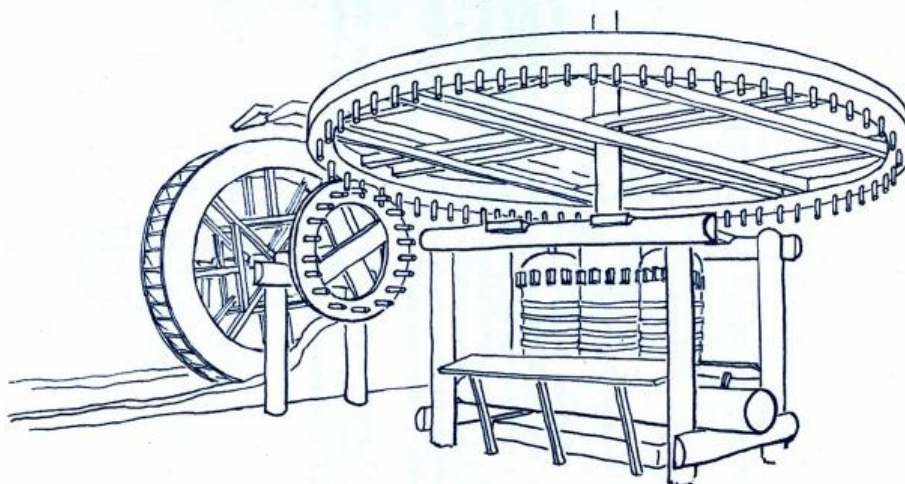
O álcool hidratado, com parte variada de água, é utilizado na indústria química, de bebidas e como combustível. Álcool anidro, sem água, é misturado na gasolina como aditivo.

História do processo de produção de açúcar

As fábricas de açúcar se modificaram em aparência, através dos séculos, mas as funções são basicamente as mesmas, diferindo em complexidade e eficiência.

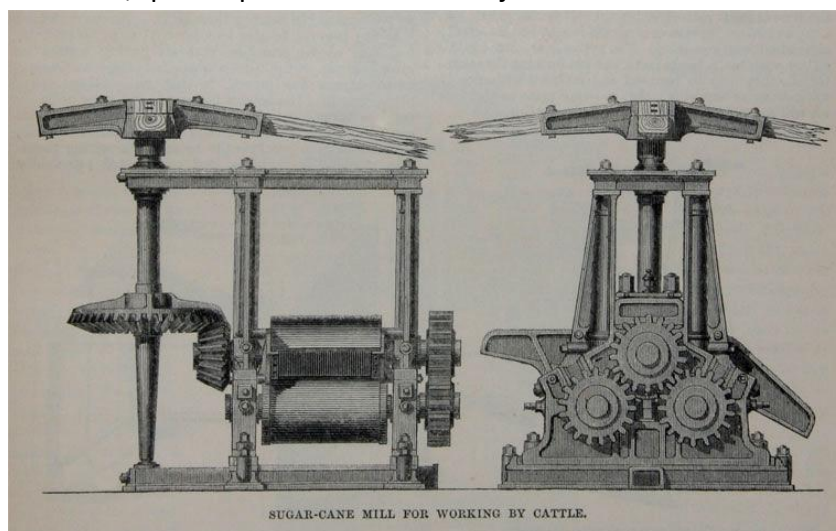
No início da fabricação de açúcar, força muscular – do homem e outros animais – era utilizada para moer a cana, ou seja, na extração de caldo.

Trapiche é a denominação da moenda a tração animal. Seu braço era colocado em movimento circular por homens, bois ou burros, fazendo girar cilindros que espremiam os talos de cana. Perto de rios, podia ser utilizada água para movimentar rodas ligadas a moendas.



Moenda acionada por roda d'água

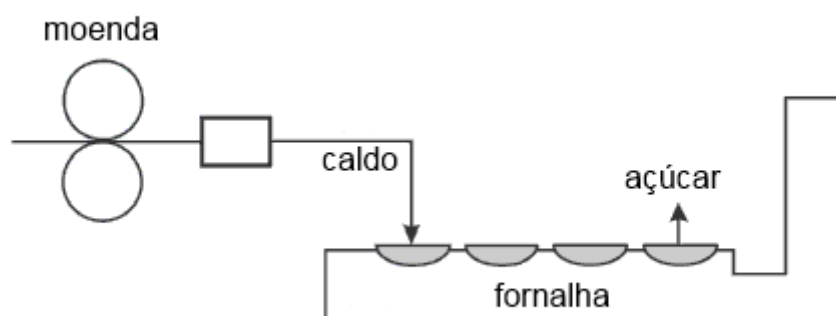
Os rolos de moendas, de madeira, foram substituídos por ferro por volta de 1750. Apenas perto de 1800 surgiu a moenda horizontal de ferro, logo seguida por esteira de alimentação de cana, que foi possível nesse arranjo horizontal.



Moenda horizontal de ferro acionada por tração animal

A purificação do caldo, nos anos de 1700, era feita com o acréscimo de plantas alcalinas, como a ceiba, que agrupavam as impurezas e possibilitavam a decantação do caldo mais limpo. No início dos anos de 1800, plantas foram substituídas por cal e substâncias com enxofre como agentes coagulantes e floculantes.

Para evaporação, o caldo de cana era fervido em tachos de ferro ou cobre. De um tacho único passou-se a 4 tachos, cada um com uma fornalha. Uma segunda melhoria apareceu no Caribe, antes de 1800, arranjando-se os 4 tachos com uma única fornalha e chaminé. Diminuiu o gasto de combustível, mas ainda era necessário em cada etapa.



Esses tachos, de tamanhos diferentes, sendo o último, menor, eram denominados: *grande*, *flambeau*, *sirop* e *teche*. Após cada fervura, o caldo resultante, mais concentrado, era transferido para o tacho seguinte em processo constante e exaustivo, desempenhado de modo geral por escravos.

No último tacho, a massa era batida para cristalizar e depois colocada em moldes cônicos para purgar, isto é, drenar o mel dos cristais de açúcar. Muitas vezes, a cristalização não ocorria, resultando num melaço e não em açúcar.



Tachos e cones de purgar

A purgação demorava 30 ou 40 dias, resultando em graus variados de mel ao longo dos cones, mais concentrado na parte inferior. Colocava-se barro sobre os cones, para produzir açúcar mais claro na parte superior. A massa desenhada era chamada de pão de açúcar e as partes com diferentes quantidades de mel eram separadas para distribuição.

Usou-se muita lenha para aquecer tachos e mover moendas, quando movidas a vapor e antes do uso do bagaço como combustível. A indústria açucareira removeu florestas para plantações e continuou a removê-las para alimentar fornalhas e caldeiras. Em média, para produzir 3.000 kg de açúcar, se consumiam 2.800 árvores.

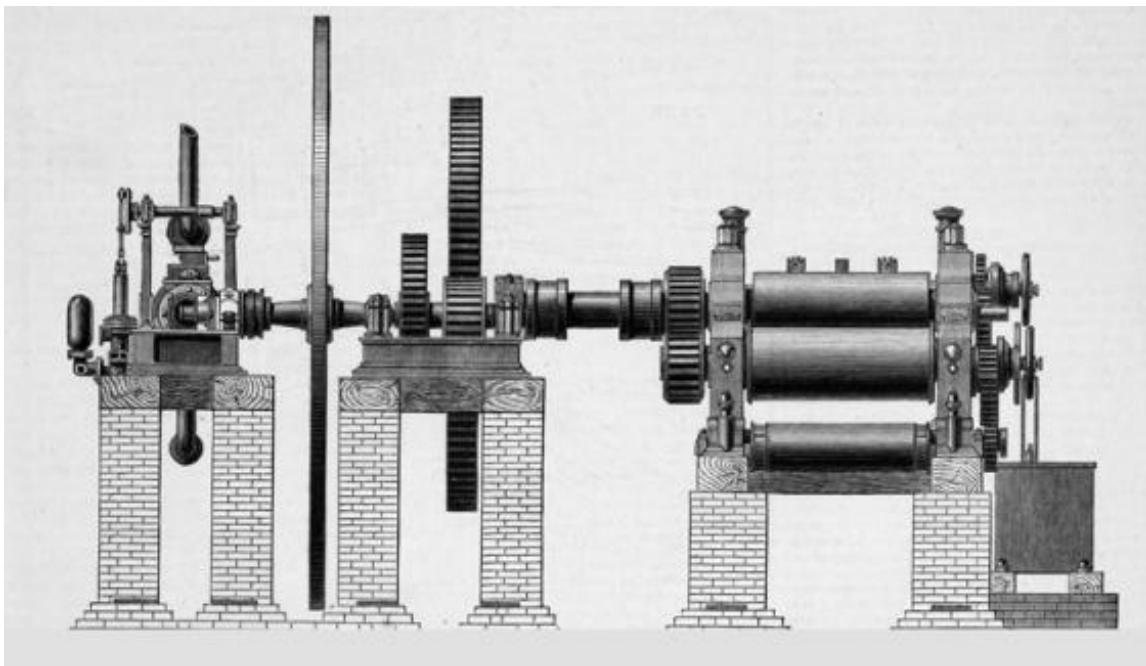
O alto consumo de combustível inviabilizou a fabricação de açúcar no Mediterrâneo, no século XV e, mais tarde, limitou-a no Caribe, onde todos os alimentos e materiais de construção (que na época eram apenas madeira) tiveram que ser importados, pois todas as terras foram deflorestadas para plantio e processamento de cana.

Nesse cenário exemplificado pelo Caribe, já havia a mecanização de engenhos, mas ela não é a única solução para todas as questões envolvidas na transformação de matéria-prima, ou seja, na indústria.

Aproveitamento em grande percentual da matéria-prima, processos físicos e químicos controlados e eficiência energética, indissociáveis, são os motivadores da industrialização.

Mecanização na produção de açúcar

Mecanização é a utilização de máquina para substituir trabalho do homem ou de outro animal. A mecanização na produção de açúcar de cana começou com a invenção da moenda horizontal de ferro movida a vapor, por volta de 1810.



Moenda com trem de engrenagens e máquina a vapor

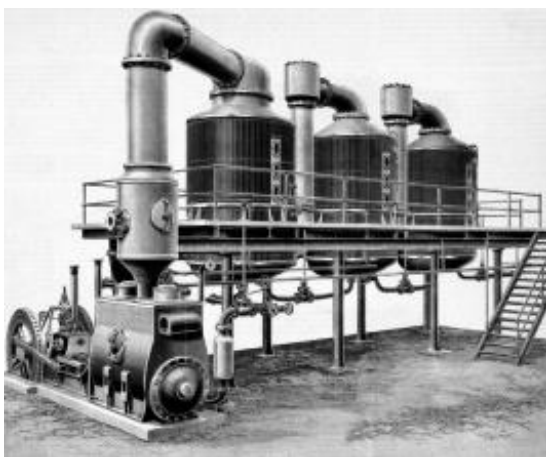
Moenda horizontal de ferro movida a vapor, substituindo a tração animal, extraía cerca de 90% do caldo, bem mais do que os 20% dos trapiches. Também aumentava o volume de cana moída por hora, melhor ainda quando acoplada à esteira de alimentação.

Máquina a vapor exigiu caldeira de vapor, que não substituiu logo as fornalhas dos tachos. Assim, a mecanização nas moendas aumentou o consumo de combustível nos engenhos. Entretanto, bagaço mais seco obtido com moendas mais potentes pode ser utilizado para queima. A partir de 1850, as caldeiras de vapor dos engenhos passaram a ser alimentadas por essas sobras, poupando lenha (carvão mineral era menos utilizado nas regiões tropicais).

Já havia melhorias nas máquinas a vapor, desde sua origem, e, entre 1800 e 1820, as caldeiras também passaram a ter construção mais complexa, com feixes de tubos no interior, para ter maior eficiência na produção de vapor a partir de determinada quantidade de combustível.

Cozedor a vácuo, inventado por Edward Charles Howard em 1813, foi uma grande inovação para a produção de açúcar, por permitir maior controle do ponto de cristalização e economizar combustível. Seu uso começou entre 1830 e 1840.

Outra grande inovação na indústria do açúcar foi o evaporador a vácuo de efeito múltiplo, desenvolvido por Norbert Rillieux em 1846. A invenção utilizou cozedores a vácuo, já conhecidos, porém, Rillieux compreendeu como o calor latente pode ser utilizado repetidamente num processo.



Os antigos tachos para concentrar o caldo puderam ser substituídos por 3 evaporadores, sendo aquecido pelo vapor de caldeiras somente o primeiro deles e os outros pela reutilização do vapor do recipiente anterior.

A invenção de Rillieux permitiu grande economia de combustível, diminuiu o desperdício de caldo, melhorou o produto e cessou o trabalho exaustivo nos tachos.

No mesmo período, meados do século XIX, surgiram os centrifugadores que, na indústria do açúcar, substituíram os cones de purgar, reduzindo essa etapa de separação dos cristais do mel de 30-40 dias para algumas horas, conforme a quantidade de massa.

Mecanização nos engenhos do Brasil

No Brasil, há referências de primeiras máquinas a vapor introduzidas em engenhos na Bahia e Pernambuco, logo após 1815, mas, de modo geral, o processo de mecanização nos engenhos brasileiros foi tardio em relação às colônias inglesas e francesas. O vapor demorou a substituir força motriz de bois e escravos ou a força hidráulica aplicada em algumas moendas.

No processo de mecanização no Brasil, participaram empresas escocesas e francesas, como Duncan Stewart & Co, McOnie & Co, Brissonneau Frères e Derosne et Cail. Esta última se manteve até 1850, prosseguiu como J. F. Cail et Cie. e, em 1861, passou a cooperar com a nova Cie. Fives-Lille, especializada em equipamentos para fábricas de açúcar e estradas de ferro.

O padrão tecnológico para a produção de açúcar e aguardente em São Paulo, a partir de 1880, contava com: cais de desembarque de cana, balança, guindaste a vapor, esteira, caldeira tipo locomotiva, moenda de 3 cilindros de 1,20 x 0,60 movida por máquina a vapor de 25 cavalos-vapor com capacidade para moer 120 mil kg de cana por dia, tachos de decantação, evaporador de tríplice efeito, cozedores a vácuo, resfriadores, centrifugadores com capacidade para 7.500 kg de açúcar em 10 horas de trabalho.

Cavalo-vapor (cv) é uma unidade de medida de potência; corresponde a cerca de 740 watts (W). Potência determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. Apenas para comparação, um adulto em boas condições físicas e bem alimentado, ao longo de 8 horas de trabalho, produz 75 W de energia mecânica por hora, ou seja, pouco mais de um décimo de cavalo-vapor.

O Engenho Central - Usina Schmidt, instalado em 1906 com maquinaria considerada moderna na época, tinha capacidade para 200 mil kg de cana por dia. Em 1910, processou 19 mil kg, produzindo 23 mil sacas de açúcar e 191 mil litros de álcool com 42 operários e força motriz de 220 cavalos-vapor (conforme dados de Julio Brandão Sobrinho. A Lavoura da Canna e a Industria Assucareira dos Estados Paulista e Fluminense: Campos e Macahé em confronto com S. Paulo. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Co, 1912.).

Um texto de Sylvio Carlos Bray, pesquisador da UNESP, indica que o custo de instalação da Usina Schmidt foi de 500 contos de réis. Outros textos indicam pequenos engenhos não mecanizados ao custo de 50 - 100 contos de réis.

De 1833 a 1942, circulou no Brasil a moeda mil-réis (Rs). Foi substituída pelo cruzeiro (Cr\$), 1 mil-réis valendo 1 cruzeiro. Conto de réis indicava um milhão de réis ou mil vezes um mil-réis (Rs 1:000\$000). Em 1860, 1 conto de réis comprava 1 kg de ouro, que hoje vale R\$ 120.000,00.

Pela equivalência com ouro, 500 contos de réis significariam R\$ 60.000.000,00, entretanto, a conversão para valores atuais não é exata, por ter havido mudanças de moeda e planos econômicos.



Estação Francisco Schmidt

A Usina Schmidt tinha também uma estação ferroviária muito próxima.

A Companhia Mogiana de Estradas de Ferro (1906-1971) instalou o ramal de Sertãozinho em 1899, ligando a estação de Barracão, em Ribeirão Preto, àquela cidade.

Em 1906, o ramal foi prolongado até uma das fazendas de Francisco Schmidt, Vassoural, vizinha do Engenho Central - Usina Schmidt, e lá foi construída uma pequena estação.

Em 1914, o mesmo ramal chegou até a estação de Pontal, da Companhia Paulista, funcionando até 1976 já sob cuidados da Fepasa.

Passagem do século XIX para o século XX – 1890-1910

Na virada do século XIX para o XX, já não havia escravos e império no Brasil:

- 1888 - abolição da escravidão
- 1889 - fim da monarquia e início da república

O transporte de passageiros e cargas estava facilitado. De 1830 em diante, houve progressiva substituição de navios a vela por navios a vapor. Em 1900, a viagem de Lisboa a Santos já podia ser feita em 20 dias, não mais nos 60 dias dos veleiros. Em terra, já havia trens. A expansão das estradas de ferro no estado de São Paulo foi acentuada entre 1880 e 1910. Na cidade de São Paulo bondes elétricos começaram a circular em 1900 e, logo depois, alguns poucos automóveis. Antes deles, só havia carros de boi, tálburis e bondes a tração animal.

A eletrificação estava começando, primeiro para iluminação de ruas, funcionamento de bondes, depois para casas e indústrias.

Nas cidades, ruas de terra e muitas obras deixavam tudo empoeirado ou enlameado. Havia problemas de saneamento, surtos de febre amarela, muitos casos de tuberculose, construção de hospitais de isolamento, ação policial contra hábitos cotidianos, discurso sanitário que confundia urbanização e saúde pública com riqueza e separação.

A revolta da vacina no Rio de Janeiro, em 1904, mais do que contra a vacinação obrigatória para varíola, foi contra a violência na desocupação de moradias (favelas e cortiços) no centro da cidade, expulsando seus ocupantes para os morros e periferia.

Houve espaço para empreendedores com muitos recursos financeiros, como ocorreu em Ribeirão Preto. Lá, a família Silva Prado atuou na produção cafeeira, infraestrutura ferroviária, mercado de câmbio e exportação, mão de obra imigrante, loteamentos, serviço de água e esgoto (a partir de 1890) e de fornecimento de energia elétrica (a partir de 1910). Na cidade de São Paulo, foi a empresa canadense *The São Paulo Tramway, Light and Power Company* que iniciou suas operações com transporte público, serviços de gás, eletricidade, telégrafo, telefonia e loteamentos.

Após a abolição da escravidão, chegaram muitos imigrantes (italianos, espanhóis e pessoas de outras nacionalidades europeias) ao estado de São Paulo, para trabalhar nas lavouras de café e outras. De 1890 a 1900, 320 mil imigrantes partiram da capital ao interior. Esse número é maior que a população na cidade de São Paulo em 1900, que era de 240 mil habitantes.

Nem todos os imigrantes se adaptaram nas fazendas e muitos buscaram ofícios nas cidades. Na região de Ribeirão Preto, a partir de 1890, vários, se não muitos, imigrantes italianos, mesmo sem recursos financeiros, se tornaram pequenos empresários, com fundições e oficinas mecânicas, armazéns e fábricas de bebidas gasosas.

O analfabetismo, na faixa da população de 15 anos ou mais, era de 65% em 1900 (em 1950, era de 50% e, em 2000, ainda era de 14% no Brasil). O trabalho infantil, tanto nas lavouras como nas fábricas ocorria em todo o mundo.

Na virada do século XIX para o XX, começa a fundação de clubes de futebol no Brasil, esporte introduzido aqui pelo inglês Charles Miller em 1895. Já havia gramofones, discos e a fotografia.

Em 1900, surge a câmera fotográfica portátil Kodak. Naquele ano, houve a publicação de *Dom Casmurro* de Machado de Assis e, em 1902, da obra *Os Sertões* de Euclides da Cunha. Em 1910, a notícia, no mundo todo, foi a passagem do cometa Halley.



São Paulo c. 1900

Anexo - Linha de tempo - 100 marcos >>>

Engenho do Museu da Cana (Engenho Central-Usina Schmidt)

Engenho, além de ser a denominação de uma lavoura com fábrica, é também a denominação do conjunto de instrumentos para preparar os produtos da cana: açúcar e álcool.

O Museu da Cana tem, em seu acervo, vários objetos, entre eles, um engenho, ou seja, um conjunto de instrumentos para preparar açúcar e caldo da produção de álcool. A produção de álcool ocorria em destilaria que ocupava uma das edificações da Usina Schmidt.

Esse conjunto de instrumentos ou engenho é formado por uma série de máquinas, elementos de máquinas (como as polias) e conexões (como as tubulações).

A listagem, **a ser verificada e complementada**, de máquinas por etapas do processo de produção de açúcar (recepção de cana-de-açúcar – extração de caldo – purificação – evaporação – cristalização – centrifugação – secagem – ensacamento – geração de vapor), compreende:

Barracão 1

Recepção de cana-de-açúcar

- 1 balança mecânica com plataforma - ferro e madeira
- 1 ponte rolante com 2 vigas e 2 talhas com correntes e ganchos - ferro
- 2 tanques de água - ferro
- 1 mesa alimentadora - madeira

Barracão 2

Extração de caldo

- 1 esteira rolante para alimentação de moenda - ferro e madeira
- 1 picador - ferro
- 2 moendas com trem de engrenagens - ferro - 1886 - Glasgow
- 2 acumuladores hidráulicos com bombas - ferro - 1886 - Glasgow
- 2 volandeiras - ferro - 1886 - Glasgow
- 1 esteira rolante intermediária entre moendas - ferro

Edifício de alvenaria

Purificação

- 5 (?) decantadores - ferro
- 1 sistema de válvulas - ferro

Evaporação

3 evaporadores - madeira e ferro - Cie. de Fives-Lille

1 bomba de vácuo da evaporação - ferro - Lille - Baudet et Boire

Cristalização

2 cozedores - madeira e ferro

1 bomba de vácuo do cozimento - ferro - Lille - Baudet et Boire

1 bica de descarga - ferro

2 resfriadores - ferro

1 transportador helicoidal de saída - ferro

Centrifugação

6 centrifugadores - ferro - 1886 / (1950)- Glasgow / Ribeirão Preto - W & W McOnie /
Officina Bianchi

1 transportador helicoidal de saída - ferro

Secagem

1 elevador de açúcar úmido - madeira e ferro

1 secador - ferro

1 elevador de açúcar seco - madeira e ferro

Ensacamento

1 ensacador - ferro

Geração de vapor e transformação de energia

1 esteira rolante de bagaço para caldeiras - ferro

3 caldeiras - ferro e tijolo - 1886 - Glasgow - Thomson Black & Co - Campos - W & W
McOnie

1 máquina a vapor - ferro - 1886 - Glasgow - Thomson Black & Co

2 motores de indução (ou dínamos geradores) - ferro - General Electric

eixos

polias

correias

tubulações

Objetos do engenho por etapas do processo de produção de açúcar

Recepção de cana-de-açúcar

- 1 balança mecânica com plataforma - ferro e madeira
 - 1 ponte rolante com 2 vigas e 2 talhas com correntes e ganchos - ferro
 - 2 tanques de água - ferro
 - 1 mesa alimentadora - madeira
-

A cana-de-açúcar que chega a um engenho é pesada e descarregada dos veículos de transporte, sendo colocada de imediato em processamento ou em depósito. O armazenamento não deve ser prolongado, pois, sem nenhum tratamento, a fermentação alcoólica do caldo nos talos ocorre rapidamente.

Balança

A pesagem tem por objetivos o pagamento dos fornecedores de cana, o controle do rendimento industrial e o controle da produtividade agrícola.

Pode ser facilitada por balanças industriais, com plataformas para veículos. As balanças mais antigas são mecânicas, podendo ter hastes, cabos, molas, componentes hidráulicos ou pneumáticos.

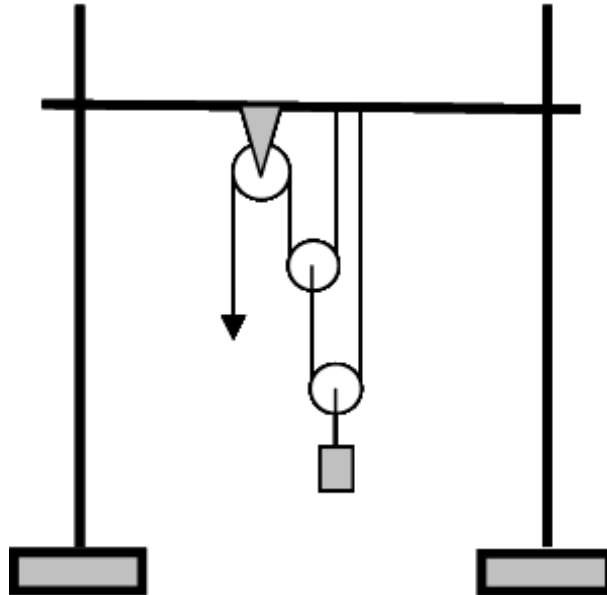
A medida de massa em uma balança com funcionamento mecânico é realizada por comparação direta entre dois objetos, um de massa conhecida e outro de massa desconhecida. A alavanca desse tipo de balança mostra o ponto de equilíbrio entre os dois corpos.



Modelo de balança mecânica e de plataforma para veículos

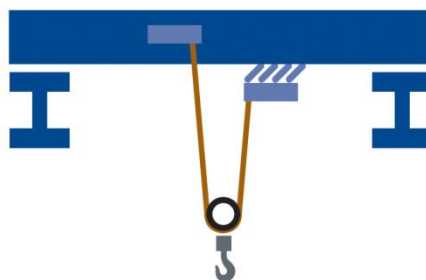
Ponte rolante

O descarregamento, armazenamento e movimentação de colheitas de cana é tarefa pesada e, nos engenhos maiores, logo se adotaram equipamentos de elevação e movimentação de cargas, que são conhecidos desde a Antiguidade, invenções de gregos e romanos. São os guindastes, elevadores e pontes rolantes, cujo funcionamento se baseia em polias ou roldanas, que são máquinas simples acionadas por cordas, correntes ou cabos.



Conjunto de roldanas

Uma máquina simples tem por objetivo transmitir ou modificar forças. As roldanas modificam a direção de aplicação de uma força, produzindo situações de maior conforto ou facilidade. Podem ser equiparadas a alavancas, já que possuem um ponto de apoio, uma força e uma carga.



Viga com talha

Uma ponte rolante trabalha ao longo de uma área delimitada, de maneira que possa descarregar veículos, alimentar depósitos e linhas de processamento. É constituída por duas cabeceiras e uma ou duas vigas por onde se deslocam as talhas. A talha é responsável pelo movimento de elevação da carga, tendo polia, corrente ou cabo de aço e gancho único ou haste com dois ganchos.

A cana descarregada na mesa alimentadora recebe uma lavagem e, em seguida, é conduzida para a esteira rolante.



Tanques de água, mesa alimentadora e esteira rolante do engenho

Ainda não há precisão sobre a data de construção dessa área do Engenho Central - Usina Schmidt que, aparentemente, foi um acréscimo após 1920.

Extração de caldo

- 1 esteira rolante para alimentação de moenda - ferro e madeira
 - 1 picador - ferro
 - 2 moendas com trem de engrenagens - ferro - 1886 - Glasgow
 - 2 acumuladores hidráulicos com bombas - ferro - 1886 - Glasgow
 - 2 volandeiras - ferro - 1886 - Glasgow
 - 1 esteira rolante intermediária entre moendas - ferro
-

Na esteira rolante, os talos de cana passam pelo picador e seguem para a primeira moenda.

A extração do caldo é feita pelo esmagamento da cana por rolos de moendas, que, quando mecanizadas, extraem cerca de 90% do caldo dos talos. O bagaço produzido é utilizado como combustível nas caldeiras.

Moendas

O uso de moendas de 3 rolos horizontais, movida a vapor, começou por volta de 1810, mas o emprego de picadores, rolos com ranhuras, moendas em séries de duas ou mais e com pistões hidráulicos levou décadas para se desenvolver nos engenhos de cana de todo o mundo.

Nas moendas comuns, sem controle de pressão, a pressão dos rolos é determinada pelo feixe de cana. A pressão aumenta quando o feixe tem muito volume e diminui com feixes menores. Dessa forma, é preciso haver a colocação regular de feixes de cana na moenda para garantir moagem com bons resultados.



Primeira moenda



Segunda moenda e acumulador hidráulico

Moenda com pistão hidráulico no rolo superior é um aperfeiçoamento do sistema. O rolo superior com pistão hidráulico se move verticalmente, conforme o volume de cana introduzido, e isso garante uma pressão constante para a moagem. A pressão é mantida por um acumulador e transmitida para o pistão por uma bomba.

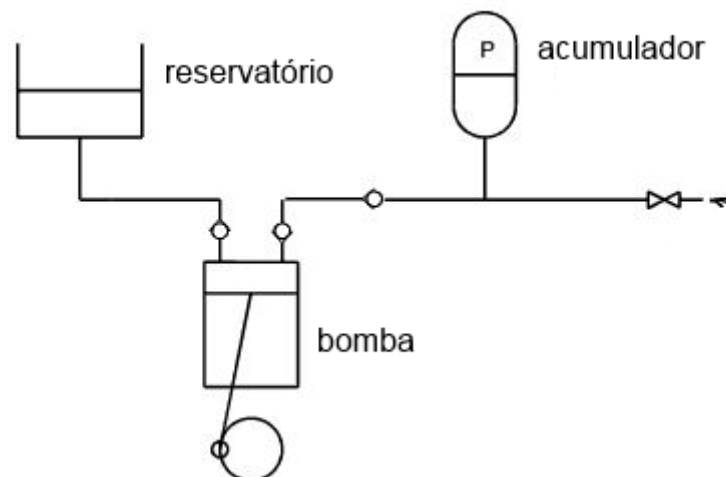
O rolo superior das moendas com aparato hidráulico teve uma patente do escocês Duncan Stewart em 1871. Nessas moendas, o rolo superior é movimentado por meio de pistões e aproxima-se ou se afasta dos rolos inferiores, de acordo com a quantidade de cana que entra na moenda. Esse movimento não pode ter grande amplitude, pois, se o afastamento for grande, o esmagamento da cana será fraco; se o afastamento for pequeno, os rolos serão desgastados e pode ocorrer até a parada da moagem.

A pressão hidráulica é transmitida para os pistões por um acumulador hidráulico.

Acumuladores hidráulicos

Acumulador hidráulico é um recipiente armazenador de fluido, como óleo, com energia na forma de pressão. Essa pressão pode ser utilizada quando necessário a um sistema.

Um acumulador hidráulico tem uma câmara cilíndrica e, dentro dela, um pistão. O pistão é pressionado por objetos pesados (discos de ferro, no caso do acumulador do engenho) ou por ar e uma bomba empurra o fluido (óleo) para dentro da câmara. O volume da câmara é fixo, mas a quantidade de fluido bombeado pode aumentar e assim sua pressão hidráulica também aumenta. Uma segunda abertura na câmara é conectada a uma máquina, como a moenda. Se o fluido não é requerido por essa máquina, permanecerá no acumulador. Quando a máquina requer energia, recebe-a do acumulador.



Trens de engrenagens

Nas indústrias que trabalham com movimentação e processamento de cargas, há necessidade de se adequar velocidade e torque das máquinas. Para isso, usam-se trens de engrenagens.

O contato entre engrenagens de menor e maior número de dentes possibilita a redução desejada na velocidade de rotação de um eixo a outro. Com a redução da velocidade, há aumento no torque transmitido.

Em rolos de moendas, o número necessário de rotações varia de 4 a 10 por minuto. Os acionadores, mesmo as antigas máquinas a vapor, têm rotações muito maiores e as moendas dispõem de engrenagens para reduzi-las. As rotações por minuto de acionadores podem ser assim distribuídas:

- Máquinas a vapor – 40 - 75 rpm
- Motores elétricos – 500 - 750 rpm
- Turbinas a vapor – 6000 rpm



Uma das volandeiras e trem de engrenagens do engenho

Volandeiras

Nos engenhos de açúcar e moinhos de trigo e milho, máquinas a vapor com volandeiras acionavam moendas e bombas.

Uma volandeira é uma roda de grande diâmetro e massa, que exige muita força para girar e também para parar o giro. Quando gira em alta velocidade, tende a manter o giro (tem grande momentum angular), ou seja, pode armazenar energia cinética. É uma espécie de “bateria mecânica”, armazenando energia em forma de movimento, não em forma química como as baterias comuns.

O tamanho das volandeiras pode variar. Rodas com diâmetros maiores e mais pesadas têm maior energia do que aquelas menores e mais leves. Porém, rodas que giram mais rápido têm mais energia do que aquelas que giram mais devagar.

Purificação - Decantadores

5 (?) decantadores - ferro

1 sistema de válvulas - ferro

A purificação, em sistema de caixas, utiliza a decantação, que leva ao fundo das caixas as impurezas do caldo, como restos de terra, de bagaço e outras partículas bem pequenas. A parte superior do caldo, mais limpa e clara, segue para outras fases do processo.

A decantação é facilitada por coagulação e floculação das impurezas. Utiliza-se cal e substâncias sulfurosas (que contém enxofre) nesse processo químico, além de borbulhamento a vapor.

Evaporação

3 evaporadores - madeira e ferro - Cie. de Fives-Lille

1 bomba de vácuo da evaporação - ferro - Lille - Baudet et Boire



Um dos evaporadores do engenho

A etapa de evaporação tem grande peso no balanço energético dos engenhos de açúcar, pois necessita de grande quantidade de vapor das caldeiras, mas também gera muito vapor de baixa pressão que é utilizado por outros equipamentos do engenho.

A evaporação é a passagem de uma substância do estado líquido para o gasoso. É utilizada para a separação de solvente e soluto de uma solução. O solvente pode ser coletado, como nos alambiques que produzem álcool, ou eliminado.

Muitas vezes, o objetivo do processo de evaporação é concentrar a solução, eliminando parte do solvente. É o que ocorre na fabricação do açúcar: o caldo purificado é submetido a um processo de concentração através da eliminação da água presente, formando-se um xarope.

Evaporadores

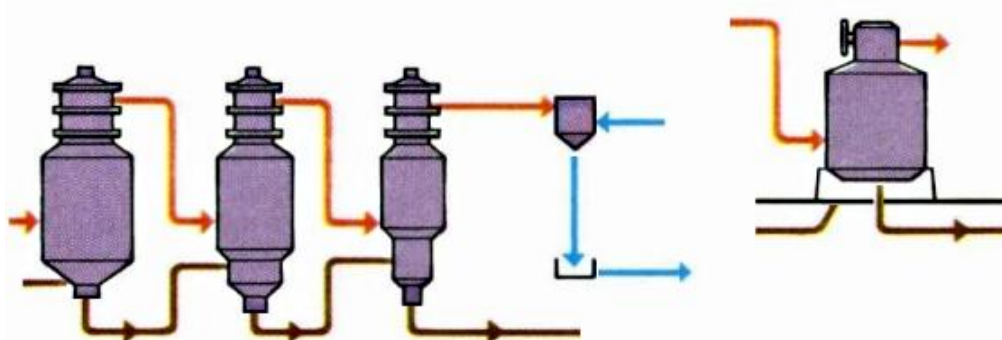
Um evaporador consiste basicamente de um trocador de calor, capaz de aquecer a solução até a ebulição, e um dispositivo para separar o vapor do líquido. Na evaporação de efeito simples, utiliza-se somente um evaporador. Na evaporação de efeito múltiplo, utilizam-se dois ou mais evaporadores.

Na evaporação de efeito múltiplo, o vapor produzido em um evaporador aquece o seguinte e assim sucessivamente até o último deles. Quando há três evaporadores, a solução colocada no primeiro evaporador é parcialmente concentrada, flui para o segundo, ocorre uma concentração adicional e, então, segue para o terceiro, onde é obtida a concentração final e a condensação do vapor resultante.

A vantagem desta conjugação é a economia de calor aplicado na solução, por reutilização de um recipiente para outro. Os fluxos de alimentação e a taxa de evaporação são controlados para que nenhum solvente ou soluto acumule em nenhum dos evaporadores.

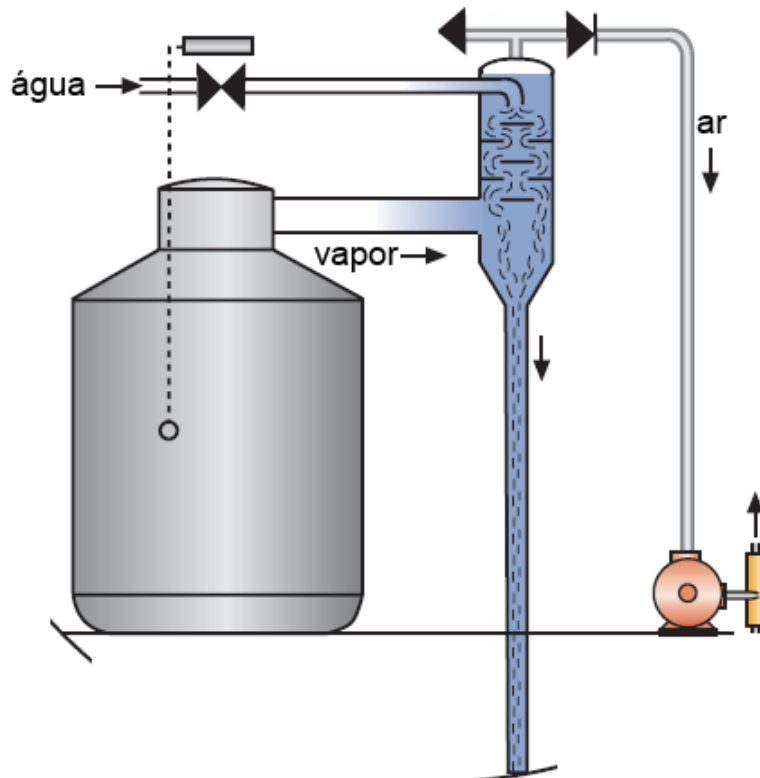
Evaporador a vácuo de tríplice efeito foi uma inovação na fabricação de açúcar desenvolvida por Norbert Rillieux, americano, patenteada em 1846. Além da utilização do vapor passando de um ao outro evaporador, a invenção utilizou a pressão reduzida no sistema por meio de bomba de ar, criando um vácuo parcial e assim diminuindo o ponto de ebulição do líquido.

A invenção de Rillieux possibilitou a produção de açúcar com melhor qualidade, com diminuição de combustível, agora necessário para aquecer somente o primeiro evaporador, redução da mão de obra necessária e dos custos. Foi uma das primeiras inovações em engenharia química e é a base para as formas modernas de evaporação industrial.



Esquema de evaporadores e cozedor - entrada e saída de caldo (marrom) e de vapor (laranja)

Os evaporadores e cozedores operam sob vácuo. Vácuo é produzido por bomba de ar (bomba de vácuo) ligada ao condensador, que se comunica com os recipientes de caldo. Água fria é bombeada para o condensador, para acelerar a condensação do vapor que sai dos recipientes. O condensador é colocado numa altura que favorece a saída da água por gravidade.



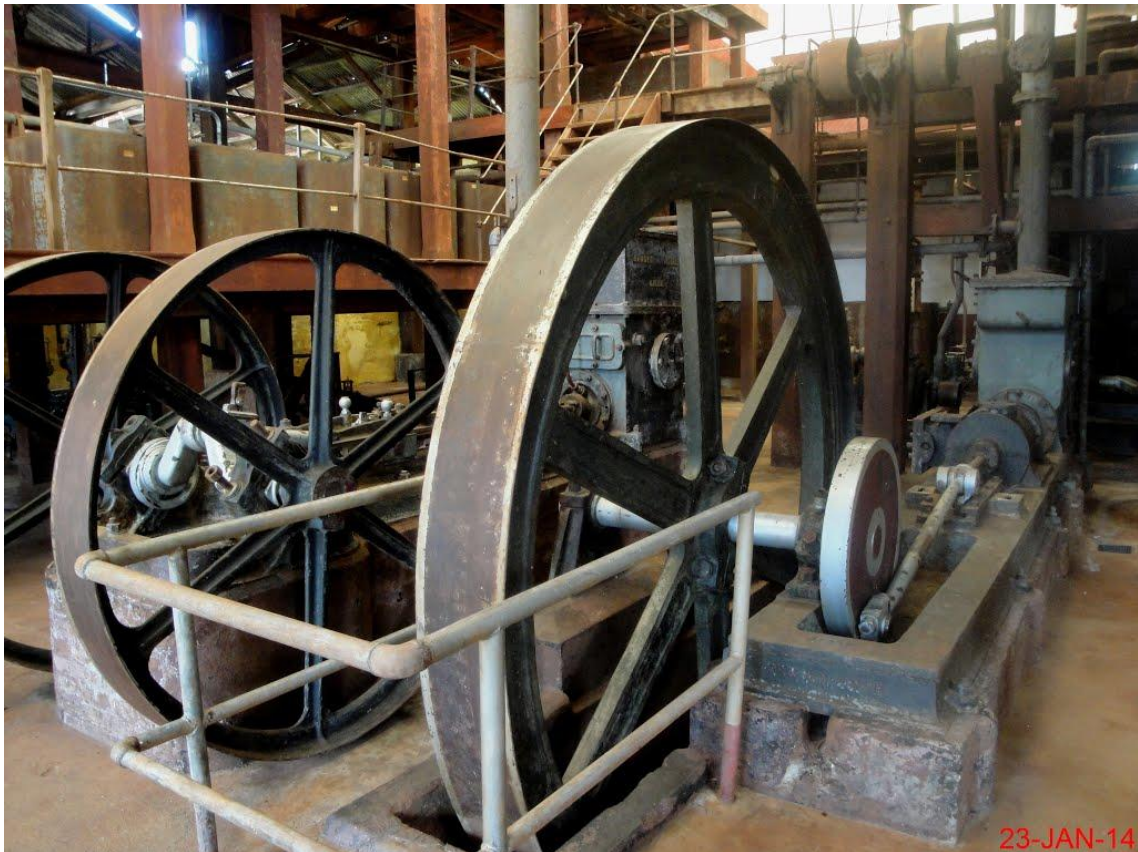
Esquema de bomba de vácuo

Bombas de vácuo

Uma bomba de vácuo é uma máquina que remove ar e outros gases de um espaço fechado. Isso cria uma pressão interna, no espaço fechado, menor que a pressão atmosférica externa. Essa pressão interna menor em um ponto facilita o fluxo do vapor em um sistema de aquecimento por vapor.

Essa facilitação ocorre porque o ar nos tubos e recipientes inibe o fluxo de vapor e reduz sua capacidade de transferir energia. Uma solução é aumentar a pressão do vapor, forçando-o de um ponto a outro, o que demanda mais combustível. A remoção do ar, por sua vez, é solução muito mais econômica.

É característica de a água ter ponto de ebulição dependente da pressão: em pressão menor, a temperatura de ebulição também é menor. Quando o vácuo é aplicado em caldeiras, evaporadores e cozedores diminui a temperatura de ebulição da água, o que também possibilita economia de combustível.



Bomba de vácuo (2 volandeiras), máquina a vapor e decantadores (canto superior esquerdo)

Cristalização

2 cozedores - madeira e ferro

1 bomba de vácuo do cozimento - ferro - Lille - Baudet et Boire

1 bica de descarga - ferro

2 resfriadores - ferro

1 transportador helicoidal de saída - ferro

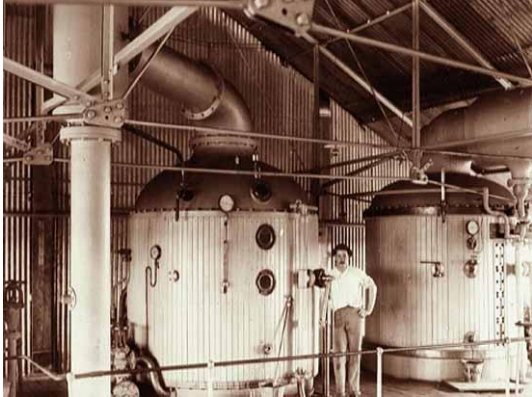
Ocorre a cristalização evaporativa ou cozimento e a cristalização por resfriamento.

Cozimento - Cozedores

Após deixar os evaporadores, o xarope é enviado aos cozedores para outra etapa de concentração, onde ocorrerá a formação dos cristais de açúcar. A massa cozida, uma mistura de 50% de cristais envolvidos em mel (solução açucarada), tem temperatura final de 65°C.

Um tubo largo conduz o xarope no interior dos cozedores a vácuo nos quais há uma grande diferença de temperatura entre a parte superior e inferior. Evaporação e resfriamento da massa em movimento resultam na aceleração da cristalização.

Cozedor a vácuo foi invenção de Edward Charles Howard, patenteada em 1813, mas levou algum tempo para ser aplicada na fabricação de açúcar, isso ocorrendo em meados do século XIX e apenas nos grandes engenhos, apesar dos benefícios como economia de combustível, tempo e maior controle do ponto de cristalização.



Cozedores a vácuo (foto de arquivo histórico)

Resfriamento - Resfriadores

A massa cozida é descarregada dos cozedores nos resfriadores ou cristalizadores, que são tanques com agitadores nos quais irá ocorrer o resfriamento lento, com auxílio de água ou ar. Há cristalização de parte da sacarose ainda dissolvida no mel.



Um dos resfriadores do engenho e transportador helicoidal de saída



Parte interna do transportador helicoidal de saída

Centrifugação - Centrifugadores

6 centrifugadores - ferro - 1886 / (1950)- Glasgow / Ribeirão Preto - W & W McOnie /
Officina Bianchi

1 transportador helicoidal de saída - ferro



Centrifugadores do engenho

Dos cristalizadores, a massa cozida resfriada segue para os centrifugadores. A ação do giro em alta velocidade faz com que o mel atravesse as perfurações do cesto desses equipamentos, ficando retidos, em seu interior, somente os cristais de açúcar, que são lavados com água e vapor no mesmo processo. O mel removido pode retornar aos cozedores.

Nos grandes engenhos, o uso de centrifugadores para drenar a massa cozida começou a ocorrer em meados do século XIX, diminuindo o tempo de drenagem (purgação) de semanas para horas. Centrifugadores foram usados primeiramente para secar tecidos, a partir de 1837, e depois desenvolvidos por inventores franceses e ingleses para o processo do açúcar.

Secagem - Secador

1 elevador de açúcar úmido - madeira e ferro

1 secador - ferro

1 elevador de açúcar seco - madeira e ferro

A secagem do açúcar é realizada em um tambor metálico através do qual passa um fluxo de ar. O objetivo é retirar umidade para diminuir o aparecimento de microrganismos e assim possibilitar o armazenamento e o ensacamento.

Ao deixar o secador, o açúcar está pronto para ser enviado ao ensacamento.



Secador de açúcar

Ensacamento - Ensacador

1 ensacador - ferro

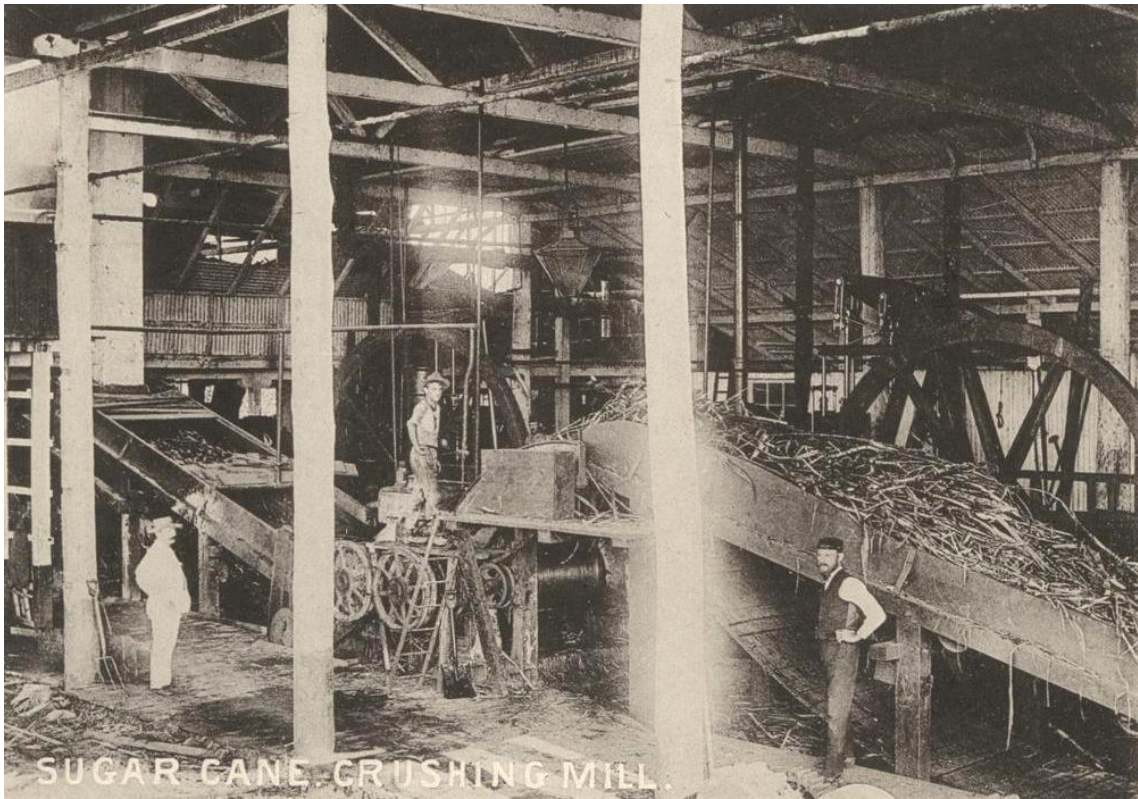


Elevador de açúcar seco e ensacador

O armazenamento do açúcar é realizado, geralmente, em sacas de 50 kg.

O açúcar produzido numa usina, como era nesse engenho, é do tipo cristal, com grande pureza, algum cheiro e gosto de melaço e característica de tornar turvo o líquido onde é adicionado. É também conhecido como açúcar turbinado ou demerara, com cristais grandes e cor amarelada ou dourada pelo resíduo de mel. Em refinarias, é transformado em açúcar branco através de homogeneização da composição e branqueamento, que elimina o cheiro e gosto de melaço e também retira os minerais ainda contidos no mel residual.

Açúcar não centrifugado, ou seja, a massa cozida com cristais e mel formados na etapa de cristalização produz rapadura, quando colocado em tabuleiros para secar, ou açúcar mascavo, quando é batido e colocado em cones para drenar. O açúcar marrom (*brown sugar*) é o açúcar demerara ou açúcar refinado branco com adição de mel final da etapa de centrifugação.



Trabalhadores em engenho na Austrália - moagem - c. 1900



Trabalhador em engenho na Califórnia - USA - ensacamento - c. 1900

Geração de vapor e transformação de energia

1 esteira rolante de bagaço para caldeiras - ferro

3 caldeiras - ferro e tijolo - 1886 - Glasgow - Thomson Black & Co - Campos - W & W McOnie

1 máquina a vapor - ferro - 1886 - Glasgow - Thomson Black & Co

2 motores de indução (ou dínamos geradores) - ferro - General Electric eixos

polias

correias

tubulações



Motor de indução (ou dínamo gerador)

A transformação de matéria-prima sempre envolve fenômenos físicos e químicos e uso de energia.

Fenômeno físico é toda transformação de matéria sem ocorrer alteração de sua composição química. Fenômeno químico é todo aquele que forma novas substâncias. Em engenhos, há fenômenos químicos nas caldeiras (combustão) e na purificação do caldo. Um fenômeno químico, como a combustão, transforma uma substância em outra, com diferentes propriedades químicas.

Na fabricação de açúcar, há necessidade de energia mecânica para movimentar talos de cana, caldo, massa cozida e cristais de açúcar, além de energia térmica nas etapas de purificação, evaporação e cristalização.

Energia

Há, no Universo, matéria e energia. Matéria é coisa palpável (ar, água, pedra, planta, animal). Energia é coisa percebida (luz, calor, som, etc.). Ambas podem ser transformadas, mas não podem ser criadas nem destruídas.

São formas de energia:

Energia cinética

- energia radiante (luz, radiação, ondas de rádio): movimento de ondas eletromagnéticas
- energia térmica (calor): vibração de átomos e moléculas
- energia sonora (som): movimento de energia através da matéria em forma de ondas
- energia elétrica: movimento de cargas elétricas
- energia mecânica: movimento de matéria pela aplicação de força

Energia potencial

- energia química: armazenada nas ligações entre átomos e moléculas
- energia nuclear: armazenada no núcleo de átomos
- energia gravitacional: energia de posição
- energia mecânica armazenada: armazenada em objetos pela aplicação de uma força

São exemplos de transformação de energia:

- o sol irradia luz (energia radiante) e calor (energia térmica)
- no telefone, o som (energia sonora) da voz é transformado em energia elétrica
- lâmpadas transformam energia elétrica em luz e calor
- uma furadeira transforma energia elétrica em energia mecânica
- carros usam energia química da gasolina transformada em energia mecânica
- usinas hidrelétricas utilizam queda de água em turbinas para transformar energia gravitacional em energia mecânica e geradores que transformam a energia mecânica em energia elétrica
- usinas termoelétricas utilizam o calor de combustão (de carvão, óleo, gás, biomassa) para produzir vapor de água que aciona turbinas nas quais a energia térmica é transformada em energia mecânica e, desta, por meio de geradores, em energia elétrica

Fontes de energia, por sua vez, podem ser divididas entre:

- renováveis: sol, calor da Terra, ventos, marés, águas, biomassa
- não renováveis: carvão, petróleo, minerais radioativos

Vapor

Vapor de água, obtido em caldeiras, não é fonte de energia; é um transportador da energia do combustível cuja queima aquece água até o ponto de ebulição (passagem para a fase gasosa).

Tem alto conteúdo de energia por unidade de massa e volume e é usado para aquecimento (com transferência de energia térmica) e movimento (com transformação de energia térmica em energia mecânica).

Vapor para aquecimento e movimento

O vapor é meio de aquecimento em diversos processos, sendo utilizado em evaporadores e cozedores.

Para movimento, o vapor - aplicado em máquinas a vapor - foi a primeira maneira eficiente de transformar energia sem contar com a força muscular do homem e de outros animais, do vento e das águas correntes. Seu uso foi uma das bases tecnológicas da Revolução Industrial.

Caldeiras de vapor

Caldeiras de vapor, também chamadas de geradores de vapor, são trocadores de calor complexos que aquecem água até o ponto de ebulição, ou seja, produzem vapor de água, sob pressões superiores a pressão atmosférica, a partir da queima de um combustível.

A queima ou combustão é uma reação química na qual os constituintes de um combustível se combinam com um comburente, que geralmente é o oxigênio do ar, produzindo calor (energia térmica) e gases.

Nas caldeiras de vapor, a água é introduzida, recebe calor (energia térmica) da combustão e passa para a fase de vapor. A água, quando passa para a fase de vapor, se expande, ocupa um volume maior do que na forma líquida e assim pressiona as paredes do recipiente. Caldeiras a vapor são, portanto, recipientes pressurizados. O vapor, direcionado para uma pequena abertura, sai dos recipientes em forma de jato.

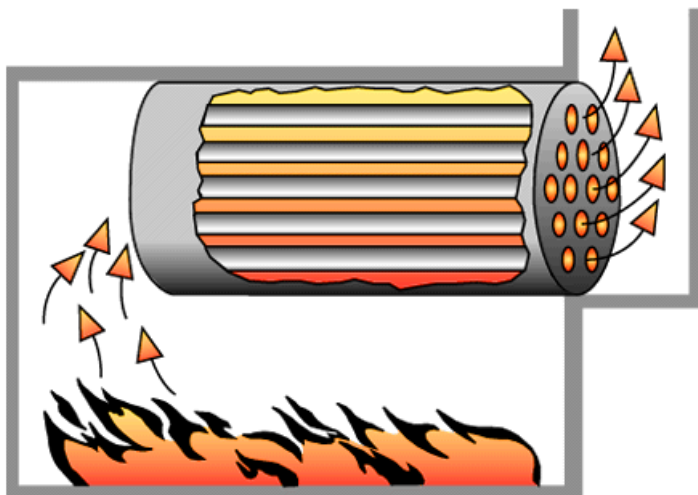
Os processos são dimensionados para a utilização de vapor saturado ou de vapor superaquecido. O vapor saturado é muito utilizado por manter a temperatura constante durante a condensação, se a pressão for constante. Sua temperatura varia entre 130°C e 350°C. O vapor superaquecido tem temperatura mais elevada, na faixa de 400°C a 560°C. É obtido com o aquecimento do vapor saturado, sem alterar a pressão, e se comporta como gás nas tubulações.

Caldeiras de vapor têm diversos dispositivos para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível e economizar combustível. Nessa direção, no início do século XIX, houve o primeiro desenvolvimento da caldeira com tubos no seu interior, que aumentam a área da superfície de aquecimento para o mesmo volume ocupado pela caldeira.

Além disso, por volta de 1800, Richard Trevithick, inglês, e Oliver Evans, americano, iniciaram o uso de caldeiras sem condensação, portanto com maior pressão e eficiência. Em seguida, a invenção das locomotivas levou ao uso de caldeiras cilíndricas, tanto para resistir melhor à pressão do vapor como para economia de espaço.

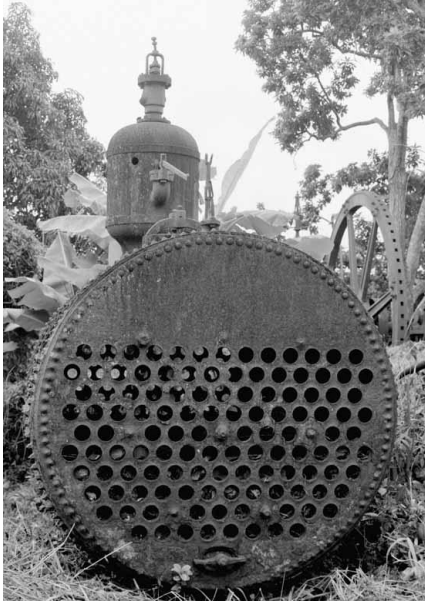
Quanto ao calor circulante, há 2 tipos de caldeira: flamotubulares e aquatubulares.

Nas caldeiras flamotubulares, os gases quentes circulam pelo interior de tubos e a água se encontra em volta dessa tubulação. São caldeiras de fácil construção e operação. Nas caldeiras aquatubulares, os gases quentes circulam pela parte externa de tubos, dispostos na forma de feixes, e a água se encontra dentro dos mesmos. São caldeiras mais difíceis de serem construídas, tendo alta produção de vapor e alta pressão de operação.

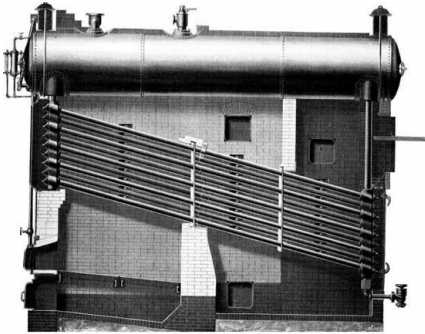


Esquema de caldeira flamotubular

Caldeiras flamotubulares surgiram primeiras, mas, logo caldeiras aquatubulares foram experimentadas por alguns inventores, sendo bem sucedidos George Babcock e Stephen Wilcox. Stephen Wilcox, em 1856, foi o primeiro a utilizar tubos inclinados com água e a primeira patente de caldeira de Babcock e Wilcox, com projeto que priorizava a segurança das operações além da economia de combustível, é de 1867. Posteriormente, vários outros modelos foram construídos por esses fabricantes.



Caldeira flamotubular tipo locomotiva



Caldeira aquatubular Babcock e Wilcox

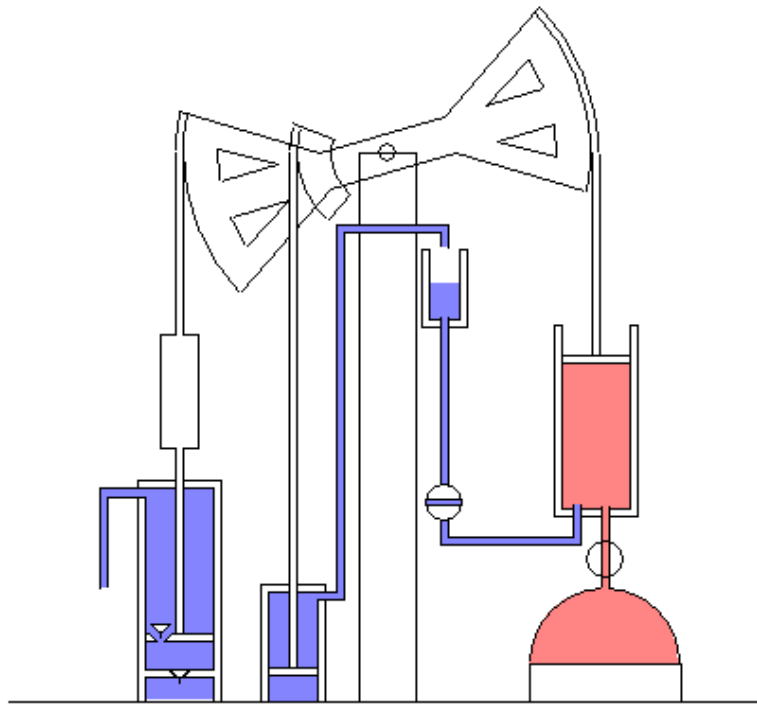
Nos engenhos de açúcar, além de caldeiras com melhor rendimento, outra forma de economizar combustível, que vinha de lenha, foi a utilização da queima do bagaço da cana-de-açúcar, iniciada por volta de 1850. Essa utilização foi possível após a adoção de moendas melhores (com 3 rolos horizontais) e, geralmente, mais de uma moenda, que resultavam em bagaço mais seco.

As caldeiras do Engenho Central - Usina Schmidt têm feixes de tubos, são possivelmente flamotubulares, mas ainda requerem mais estudos para correta descrição.

Máquinas a vapor

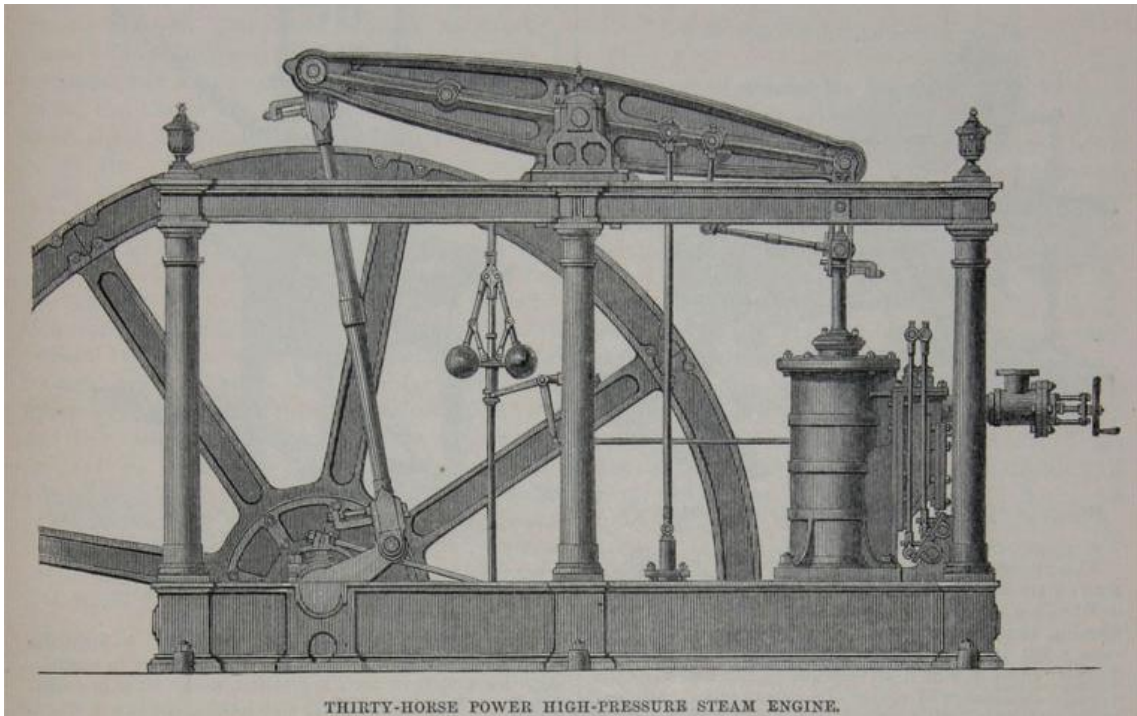
Nos anos de 1600, surgiram experimentos e invenções para bombear água com o uso de vácuo causado pelo vapor introduzido em tubos e depois condensado para a forma líquida.

Tendo esses conhecimentos, Thomas Newcomen, mecânico inglês, inventou a máquina a vapor propriamente dita em 1712. Foi a primeira máquina a aproveitar vapor dentro de um cilindro com pistão para produzir trabalho mecânico e foi utilizada, no início, para bombear água de minas.



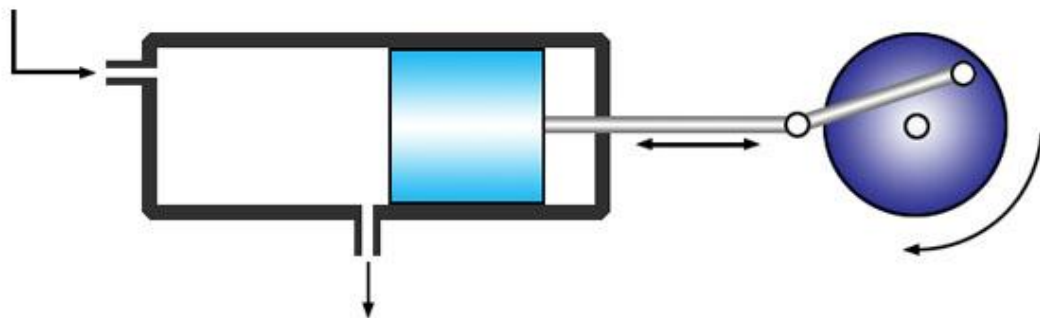
Máquina a vapor de Newcomen

James Watt, matemático escocês, aprimorou o invento de Thomas Newcomen, com grande economia de combustível para produzir vapor. Seus melhoramentos, como câmara de condensação separada (para evitar aquecimento e resfriamento do cilindro em cada batida) e movimento de rotação, foram patenteados em 1769.



Máquina a vapor com soluções de Watt

Numa máquina a vapor, parte da energia térmica é convertida em trabalho. Vapor pressurizado entra no cilindro do equipamento, expande e empurra o pistão, que está conectado a um braço para produzir movimento vertical ou a uma manivela presa a uma roda (volandeira) para produzir movimento de rotação.



Esquema de cilindro, pistão, entrada e saída de vapor, biela-manivela e volandeira

Máquinas a vapor foram aplicadas em bombas de água, em locomotivas (giro de rodas), em moendas (giro de rolos) e em outros equipamentos que exigiam movimentos verticais ou de rotação.

Máquinas a vapor e fluxos no engenho

Nesse engenho, a máquina a vapor que, presumidamente, movimentava as moendas na época da instalação está ausente.

A segunda máquina a vapor, presente, acionava, por um sistema de eixos, polias e correias, os centrifugadores, saídas helicoidais dos secadores e centrifugadores e elevadores de açúcar. Possivelmente, também as bombas de vácuo dos evaporadores e cozedores.



Máquina a vapor do engenho

Há também, nesse engenho, instalações e equipamentos elétricos de datas ainda a ser verificadas, além de um sistema de tubulações para distribuição de caldo, vapor e água entre os equipamentos.

As tubulações possivelmente conduziam:

- caldo das moendas para os decantadores e daí para os evaporadores e cozedores
- vapor de alta pressão das caldeiras para as máquinas a vapor
- vapor de média pressão das caldeiras para o borbulhamento nos decantadores e transporte do caldo nas tubulações
- vapor de baixa pressão das máquinas a vapor para os evaporadores e cozedores
- água dos condensadores da evaporação e cozimento para as caldeiras



Eixo, polias e correia numa das áreas do engenho

Máquinas simples

Máquinas a vapor são máquinas compostas. Fazem parte de todas as máquinas compostas, mecanismos bastante antigos conhecidos como máquinas simples.

Máquinas simples são mecanismos que mudam a direção e magnitude de uma força. São os planos inclinados, alavancas, eixos e rodas.

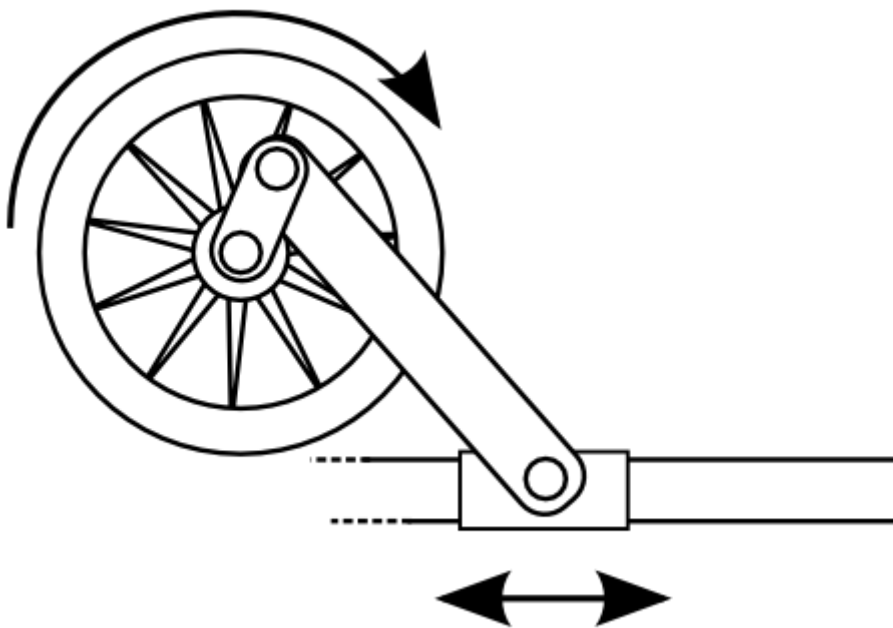
As rodas mais antigas surgiram na China bem mais de 2000 anos atrás. Gregos, como Aristóteles (360 a.C.) e Arquimedes (260 a.C.), descreveram e estudaram engrenagens, assim como Leonardo da Vinci que, por volta de 1500, dedicou-se ao estudo de máquinas e mecânica. Galileu Galilei, em 1600, foi o primeiro a compreender que máquinas simples não criam energia, apenas a transformam. No século XIX, o interesse por máquinas e energia aumentou, levando a várias invenções.

Nas máquinas compostas, as máquinas simples compõem o conjunto de elementos de máquina e são responsáveis pela transmissão mecânica de movimento e potência. Potência é o produto de força e velocidade.

As transmissões de movimento mais comuns e respectivos elementos são:

- Movimento retilíneo em rotação - biela-manivela
- Rotação em rotação - eixos, engrenagens, polias com correia, rodas dentadas com corrente, rodas de fricção
- Rotação em movimento retilíneo - pinhão-cremalheira

Biela-manivela é o mecanismo da máquina a vapor utilizado para girar a volandeira. Engrenagens, polias com correia e rodas dentadas com corrente, transmitindo rotação, aparecem em várias máquinas de um engenho como este Engenho Central - Usina Schmidt: nas esteiras, moendas, máquinas a vapor, centrifugadores e elevadores de açúcar.



Biela-manivela e volandeira

Transmissão de rotação em rotação

Eixos



Eixos ou eixos de transmissão são elementos de máquina utilizados para transmitir movimento rotativo ou suportar componentes rotativos. Há eixos propriamente ditos, que trabalham fixos, como o eixo que sustenta a roda de um carrinho de mão. Eixos-árvore trabalham em movimento, como o eixo de uma serra circular.

Um eixo pode transmitir diretamente a energia de um dispositivo de comando (motor elétrico ou de combustão interna) a outro ponto de uma máquina. Em outras situações, eixos carregam rodas e polias, que transmitem o movimento rotativo para outra unidade. Instalações industriais frequentemente possuem eixos em linha que levam potência para várias máquinas ou estações de trabalho a partir de um único ponto de força motriz.

Transmissão por engrenagens ou rodas dentadas



As engrenagens podem ser cilíndricas ou cônicas, com dentes retos ou helicoidais (mais recentes). Nelas, o contato necessário para a transmissão de rotação é feito através dos dentes que se encaixam em vãos, evitando escorregamento.

Nas transmissões em geral, o pinhão é a roda motora, ao passo que a roda movida é a coroa. Essas rodas podem ter diâmetros diferentes e, em função do arranjo desses elementos, é possível aumentar ou reduzir variáveis da transmissão, como velocidade e torque.

Redutores



Trens de engrenagens foram aprimorados como redutores. Um redutor consiste num conjunto de eixos com engrenagens, rolamentos (elementos girantes de máquina que suportam o eixo com as engrenagens) e retentores (vedações de borracha com mola que retêm o óleo lubrificante do sistema).

Os redutores variam conforme a potência do motor a eles acoplado. A transmissão pode ser com eixos concêntricos, paralelos ou perpendiculares, tanto na horizontal como na vertical.

Transmissão por polias e correia



A transmissão de movimento de rotação entre dois eixos pode ser conseguida por meio de um par de polias e um elemento intermediário flexível, a correia. Elas são empregadas quando se pretende transmitir potência a uma distância em que o uso de engrenagens é inviável.

As polias são peças cilíndricas, movimentadas pela rotação de um eixo motor ou por correias. Polia que transmite movimento e força é a polia motora ou condutora. Polia que recebe movimento e força é a polia movida ou conduzida.

Correias são elementos de máquina que transmitem movimento de rotação entre dois eixos (motor e movido) com polias.

A transmissão de potência se dá por meio de atrito, que pode ser simples, quando existe somente uma polia motora e uma polia movida, ou múltipla, quando existem polias intermediárias com diâmetros diferentes.

Transmissão por rodas dentadas com corrente



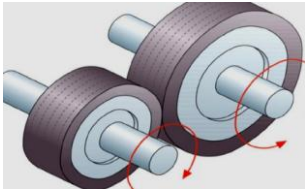
Este tipo de transmissão não apresenta deslizamento e pode transmitir potências maiores, quando comparado às transmissões por correias. Com relação às engrenagens, permite maior distância entre eixos. Além disso, opera em condições severas, diferente das correias, que são inadequadas sob umidade e alta temperatura. Como limitação, a grande maioria das correntes pode funcionar apenas entre eixos paralelos e sem alteração do sentido de rotação. Gera ruídos e vibrações e opera em situações de menor velocidade.

As rodas ou polias dentadas para correntes são mais estreitas que as engrenagens e os dentes possuem formato adequado para o encaixe das correntes.

As correntes são elementos de máquinas flexíveis com formatos variados. As de rolos são as mais utilizadas, tendo como componentes, em cada elo: pino, rolo, buchas e talas.



Transmissão por rodas de fricção



Também no grupo de transmissão de rotação em rotação, podem ser usadas rodas de fricção. Rodas de fricção são cilindros de contato para transmissão entre dois eixos paralelos situados a pequenas distâncias.

Eletrificação

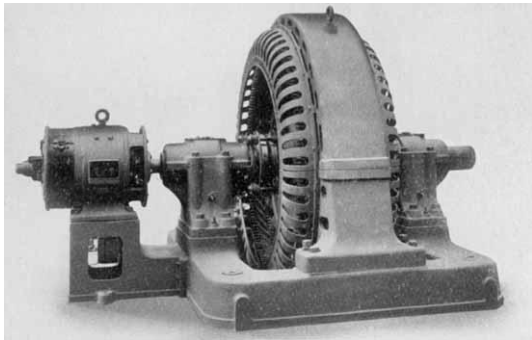
O Brasil entrou tarde na 1ª Revolução Industrial (máquinas a vapor), no entanto, acompanhou de perto a 2ª Revolução Industrial (energia elétrica e petróleo), iniciada por volta de 1873 com os primeiros dínamos.

Dínamos e alternadores são geradores mecânicos e aplicam a indução eletromagnética, que ocorre por um ímã girando dentro de uma bobina de fio metálico na qual induz corrente elétrica.

O que faz girar o ímã de um gerador - ou a bobina ao redor do ímã - é o eixo de uma turbina que, por sua vez, pode ser girada por queda de água (usinas hidrelétricas) ou por vapor pressurizado produzido em caldeiras a carvão mineral, óleo, lenha, palha ou bagaço (usinas termoelétricas). Usinas nucleares são termoelétricas que produzem vapor a partir de energia nuclear.

Energia elétrica pode ser transformada em luz, ondas de rádio, calor, som e energia mecânica. Para a transformação em energia mecânica, a energia elétrica é aplicada em motores elétricos que têm, primariamente, movimento de rotação.

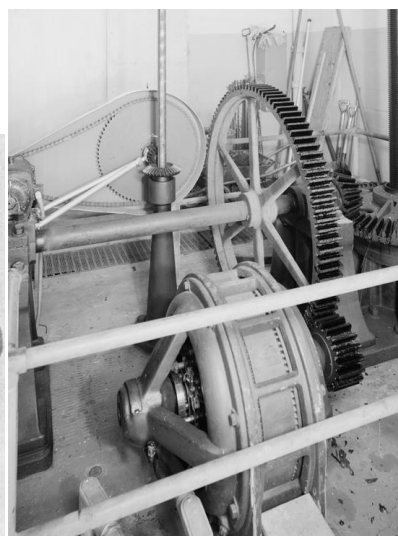
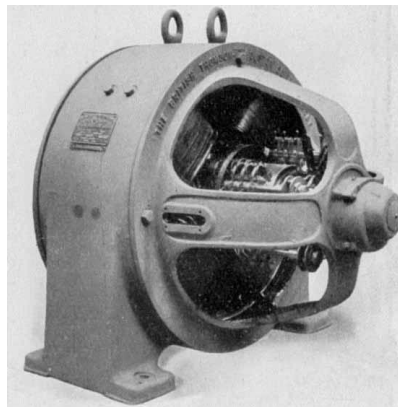
Nos engenhos mecanizados a vapor e nas demais indústrias, geradores logo foram utilizados para iluminação (fornecimento de energia elétrica para lâmpadas) e, em seguida, para pequenos motores de máquinas menores. Esses geradores, nos engenhos, eram acionados por correias conectadas a volandeiras das máquinas a vapor das moendas ou por máquinas a vapor exclusivas.



Gerador de corrente alternada

A construção de usinas hidrelétricas e termoelétricas, com grandes geradores, não tardou em todo o mundo, fornecendo energia elétrica para iluminação pública e depois para motores e outros equipamentos elétricos em casas e indústrias. No estado de São Paulo, surgiram usinas geradoras de energia elétrica a partir da década de 1880.

Muitos engenhos, nos países produtores de açúcar e álcool, instalaram moendas com motores elétricos ou adaptaram suas máquinas para esses motores. Obtiveram melhores resultados com corrente alternada e motores de indução. Contudo, o vapor de caldeiras permaneceu, pois é necessário para vários processos com a matéria-prima, como separações e cozimento.



Motor de corrente direta (contínua) e motor de indução General Electric 1911 ligado a engrenagens

Máquinas a vapor continuaram onde não havia eletrificação (zonas rurais e locomotivas) e também onde há, ainda hoje, processos industriais que usam vapor. Havendo caldeiras para os processos industriais, nem todas as máquinas deixaram de ser a vapor para ser elétricas, mesmo com a eletrificação. Situação comum foi, e continua sendo, a utilização de turbinas a vapor. O vapor das caldeiras é utilizado para o processamento da matéria-prima e para movimentar tais turbinas.

Turbinas a vapor, projetadas pelo engenheiro inglês Charles Parsons em 1885, são responsáveis pela transformação da energia térmica do vapor em energia mecânica. Diferentes das máquinas a vapor, produzem movimento de rotação sem o sistema biela-manivela. Podem acionar máquinas - como moendas - diretamente e geradores. Em geradores, a energia mecânica é transformada em energia elétrica.



Turbina a vapor

Com o aprimoramento de geradores, motores, turbinas e instalações elétricas, num período longo, entre 1930 e 1970, muitos engenhos de açúcar no mundo todo passaram a usar eletricidade, gerada no local ou vinda de rede de distribuição, para a maquinaria auxiliar (bombas, centrifugadores), mas, não para as moendas.

Moendas, que consomem grande parte da energia utilizada em engenhos, começaram a ser movidas diretamente por turbinas a vapor de simples estágio, alimentadas pelas caldeiras. No entanto, essas turbinas não são eficientes; só 1/3 da energia que recebem é transferida para as moendas.

No Brasil, com grandes usinas hidrelétricas e a interligação de sistemas elétricos após a década de 1980, a energia começou a ser distribuída de forma abundante e com baixo custo, diminuindo o uso de turbinas a vapor.

Atualmente, a cogeração de calor e energia elétrica pelas usinas de açúcar e álcool é importante, tanto para uso nas instalações como para venda da energia excedente. Turbinas a vapor de múltiplos estágios, mais eficientes, vêm sendo instalados nas usinas atuais, que procuram equacionar os componentes, bagaço, caldeira, vapor, turbina, gerador e motores elétricos, para melhor balanço energético.

Bibliografia

Balbo, Fernando. *Fernando Balbo (depoimento, 2011)*. Rio de Janeiro: CPDOC/FGV, 2012.

Calsani, Rodrigo de Andrade. *O imigrante italiano nos corredores dos cafezais: cotidiano econômico na Alta Mogiana (1887-1914)*. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Franca, 2010.

Correia, Telma de Barros. Ornato e despojamento no mundo fabril. *Anais do Museu Paulista* 19 (1): 11-79, 2011.

Furlanetto, Patricia Gomes. *O associativismo como estratégia de inserção social. As práticas sócio-culturais do mutualismo imigrante italiano em Ribeirão Preto (1895-1920)*. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Galloway, J. H. *The sugar cane industry. An historical geography from its origins to 1914*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

Haffner, Caio Cesar A. *Vida urbana, mercado interno e tributação na Região Mogiana (1898-1913)*. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

Herold, Marc. A importação de maquinário de açúcar para debelar a crise do açúcar na Bahia no período de 1875 - 1914. *Revista de Ciências Administrativas*, Fortaleza, 15 (1): 11-37, 2009.

Hugot, Emile. *Handbook of cane sugar engineering*. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 1986.

Iannone, Roberto Antonio. *Evolução do setor elétrico paulista*. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ICOMOS; TICCIH. *Principles for the conservation of industrial heritage sites, structures, areas and landscapes*. The Dublin Principles. 2011.

Marson, Michel Deliberali. *Origens e evolução da indústria de máquinas e equipamentos em São Paulo, 1870-1960*. Tese (Doutorado), Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, 2012.

Mcintosh, John Geddes. *The technology of sugar*. London: Scott, Greenwood & Son, 1916.

Meira, Roberta Barros. *Banguês, engenhos centrais e usinas: o desenvolvimento da economia açucareira em São Paulo e a sua correlação com as políticas estatais (1875-1941)*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Meira, Roberta Barros. *A quimera da modernização: do terceiro distrito de engenhos centrais ao complexo agroindustrial sucroalcooleiro paulista, mineiro e fluminense - 1875-1926*. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Melo, José Evandro Vieira de. *Café com açúcar: a formação do mercado consumidor de açúcar em São Paulo e o nascimento da grande indústria açucareira paulista na segunda metade do século XIX*. *Seculum Revista de História* 14: 74-93, 2006.

Melo, José Evandro Vieira de. *O açúcar no café. Agromanufatura açucareira e modernização em São Paulo (1850-1910)*. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Pistore, Thiago Teodoro. *Avaliação técnico - econômica e ambiental da eletrificação das moendas na indústria sucroalcooleira*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004.

Ramos, Dulcinéia Aparecida Rissatti. *Território e indústria: as empresas metalomecânicas em Sertãozinho*. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2009.

Ricardi, Alexandre. *A Companhia Água e Luz do estado de São Paulo e suas relações de conflito na formação do parque elétrico paulistano - 1890-1910*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Rodrigues, Angela Rosch. *Estudo do patrimônio industrial com uso fabril da cidade de São Paulo*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2011.

Rogers' drawing and design. An educational treatise. New York: Theo Audel & Co., 1913.

Sampaio, Mateus de Almeida Prado. *Aceleração do tempo e encurtamento das distâncias - o histórico papel das técnicas no processo de interiorização e modernização da canavieicultura paulista: séculos XVI a XXI*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Silva, Áurea Pereira da. *Engenhos e fazendas de café em Campinas (séc. XVIII - séc. XX)*. *Anais do Museu Paulista* 14 (1): 81-119, 2006.

Silva, Bruno Gonçalves da. *Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Energia EP/FEA/IEE/IF, Universidade de São Paulo, 2011.

Stillman, O. B. *Installations of cane mills, multiple effects, vacuum pans, filters and cane sugar making machinery*. 1904.

Tronto, Reinaldo. *Cultura e espaço: identidade e território na formação de um arranjo produtivo local potencial em Sertãozinho-SP*. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

Wallis-Taylor, A. J. *Sugar machinery*. London: William Rider & Son, 1901.

Lista de desenhos técnicos

Historic American Engineering Record - National Park Service - USA
Library of Congress

Boiler diagram_RW Meyer Sugar Mill_1878

Cane mill_gears_Hacienda Azucarera La Igualdad_1840-1870

Cane mill_gears_steam engine_Hacienda Azucarera La Concepcion_1865_1

Cane mill_gears_steam engine_Hacienda Azucarera La Concepcion_1865_2

Cane mill_gears_steam engine_Hacienda Azucarera La Igualdad_1840-1870

Cane mill_RW Meyer Sugar Mill_1878

Cylinder_eccentric_Hacienda Azucarera La Igualdad_1840-1870

Engine_Estate Rust-Op-Twist_1850

Equipment plan_RW Meyer Sugar Mill_1878

Equipment_RW Meyer Sugar Mill_1878

Horizontal steam engine_Estate Clifton Hill Sugar Factory_1808-1915

Multitubular boiler_Hacienda Azucarera La Concepcion_1865

Plan of mill area_Hacienda Azucarera La Concepcion_1865

Reduction gears_Hacienda Azucarera La Esperanza_1861

Single column steam engine_Hacienda Azucarera La Igualdad_1840-1870

Steam engine_Estate Reef Bay Sugar Factory_1830-1844

Steam engine_Hacienda Azucarera La Esperanza_1861

Steam engine_McOnie_1847_desenho

Steam engine_McOnie_1847_foto

Links

Dados e imagens de máquinas em funcionamento

<http://projects.chass.utoronto.ca/wshn/> - World Sugar History Newsletter

<http://www.patrimoine-industriel-de-mayotte.fr/> - Patrimoine industriel de Mayotte

http://www.gracesguide.co.uk/Main_Page - Historical information on industry and manufacturing in Britain

<https://www.youtube.com/watch?v=iMEnOLuUYpg> - Hacienda Esperanza Puerto Rico

<https://www.youtube.com/watch?v=Y-yLOY4v6As> - Sugar Mill Java 2004

https://www.youtube.com/watch?v=f3v_j9x4bQQ - Sugar Mill India 2004

Linha de tempo - 100 marcos

ANO	ITEM	RESPONSÁVEL
1665	desenvolvimento do microscópio	Robert Hooke (UK)
1712	máquina a vapor	Thomas Newcomen (UK)
1769	máquina a vapor (aperfeiçoamento)	James Watt (UK)
1796	vacinação contra varíola	Edward Jenner (UK)
1804	locomotiva a vapor	Richard Trevithick (UK)
1813	cozimento a vácuo	Edward Charles Howard (UK)
1831	indução eletromagnética	Michael Faraday (UK)
1834	máquina de refrigeração mecânica	Jacob Perkins (USA)
1838	telégrafo comercial	William Cooke e Charles Wheatstone (UK)
1844	máquina a gás	Stuart Perry (USA)
1846	evaporação a vácuo de múltiplo efeito	Norbert Rillieux (USA)
1852	fotogravura	William Henry Fox Talbot (UK)
1857	microrganismos como causa de fermentação e doença	Louis Pasteur (França)
1858	motor a combustão interna (aperfeiçoamento)	Jean Joseph Lenoir (França)
1859	publicação de A Origem das Espécies	Charles Darwin (UK)
1863	pasteurização de alimentos	Louis Pasteur (França)
1867	dínamo gerador de energia elétrica	Werner von Siemens (Alemanha)
1868	dinamite	Alfred Nobel (Suécia)
1871	moenda com aparato hidráulico	Duncan Stewart (UK)
1876	transmissão de fala por fio	Alexander Graham Bell (USA)
1877	fonógrafo	Thomas Edison (USA)
1879	lâmpada incandescente	Thomas Edison (USA)
1885	automóvel a gasolina	Karl Friedrich Benz (Alemanha)
1885	vacina contra raiva e vacinação preventiva	Louis Pasteur (França)
1885	turbina a vapor	Charles Parsons (UK)
1888	motor elétrico (aperfeiçoamento)	Mikhail Dolivo-Dobrovolsky (Rússia/Alemanha)
1890	câmera de cinema com filme de celulóide	Thomas Edison e William Laurie Dickson (USA)
1895	demonstração de projeção de filme	Auguste Lumière e Louis Lumière (França)
1896	telefone com discagem por pulso	Alexander Keith (USA)
1897	carro elétrico	Electric Carriage Company of Philadelphia (USA)
1898	gravação magnética de som a partir de sinal elétrico	Valdemar Poulsen (Dinamarca)
1900	câmera fotográfica Brownie	George Eastman e Frank Brownell (USA)
1903	avião Flyer	Wilbur Wright e Orville Wright (USA)
1904	máquina de fabricar garrafas de vidro	Michael Joseph Owens (USA)
1906	rádiodifusão	Reginald Fessenden (Canadá)

1906	avião 14-bis	Alberto Santos Dumont (Brasil/França)
1928	fita magnética para gravação de som	Fritz Pfleumer (Alemanha)
1934	lâmpada fluorescente comum	George Inman, Richard Thayer, Eugene Lemmers e Willard Roberts (USA)
1934	televisão eletrônica	Telefunken (Alemanha)
1939	avião a jato	Heinkel (Alemanha)
1942	reator nuclear experimental	Enrico Fermi (USA)
1943	calculadora eletromecânica MARK-1	IBM (USA)
1946	computador eletrônico ENIAC	University of Pennsylvania (USA)
1947	transistor	William Bradford Shockley, John Bardeen e Walter Houser Brattain (USA)
1947	proposta de telefonia celular	Bell Labs (USA)
1953	descoberta do arranjo molecular de DNA	James Watson e Francis Crick (UK)
1953	gravação magnética de áudio e vídeo	RCA (USA)
1954	célula solar	Bell Labs (USA)
1957	satélite artificial Sputnik I	Programa espacial soviético (URSS)
1958	imagens de ultrassom para fins médicos	Ian Donald (UK)
1958	rádio transistorizado de bolso	Sony (Japão)
1960	laser (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação)	Theodore Maiman (USA)
1961	led (diodo emissor de luz)	Nick Holonyak Jr. (USA)
1962	estudos e alertas sobre poluição ambiental	Rachel Carson (USA)
1962	video game Spacewar	Steve Russell, Martin Graetz e Wayne Wiitanen (USA)
1962	linha telefônica com transmissão digital	AT&T (USA)
1962	satélite orbital de comunicação Telstar I	Bell Labs (USA)
1963	meio de armazenamento Compact Audio Cassette	Philips (Holanda)
1969	missão espacial Apollo 11	NASA (USA)
1969	rede de computadores ARPANET e protocolo TCP/IP	Departamento de Defesa (USA)
1972	calculadora eletrônica de bolso	HP (USA)
1973	demonstração de telefone celular DynaTAC	Motorola (USA)
1975	computador pessoal Altair 8800	MITS (USA)
1975	câmera fotográfica digital	Steven Sasson (USA)
1976	computador pessoal Apple-1	Steve Wozniak (USA)
1976	gravador de vídeo cassete VHS	JVC (Japão)
1979	conceito de interdependência entre organismos e ambiente	James Lovelock (Inglaterra)
1979	tocador de fita k7 portátil	Sony (Japão)
1981	computador pessoal IBM PC	IBM (USA)
1981	sistema operacional MS-DOS	Microsoft (USA)
1983	meio de armazenamento Compact Disc - CD	Philips (Holanda)
1983	sistema de telefone celular DynaTAC	Motorola (USA)

1984	teste de DNA	Alec Jeffreys (UK)
1984	tocador de CD portátil	Sony (Japão)
1984	computador pessoal Macintosh	Apple (USA)
1984	câmera de vídeo VHS	JVC (Japão)
1985	fulereno (arranjo de 60 átomos de carbono em forma de esfera)	Robert Curl Jr., Harold Kroto e Richard Smalley (USA)
1986	supercondutividade em materiais cerâmicos	Karl Alexander Müller e Johannes Georg Bednorz (Suíça)
1986	computador laptop IBM PC	IBM (USA)
1988	console de video game	Sega (USA)
1988	transmissão de sinais digitais	Bellcore (USA)
1990	lançamento do telescópio espacial Hubble	NASA (USA)
1991	sistema operacional Linux	Linus Torvalds (Finlândia)
1991	sistema World Wide Web	Tim Berners-Lee (Suíça)
1997	meio de armazenamento Digital Video Disc - DVD	Philips (Holanda) e Sony (Japão)
1998	tocador de mp3	Saehan Information Systems (Coreia)
1999	telefone celular com navegador	Nokia (Finlândia)
2004	grafeno (arranjo bidimensional de átomos de carbono)	Andre Geim e Konstantin Novoselov (UK)
2004	missão espacial Mars Exploration Rover Mission	NASA (USA)
2006	estudos e alertas sobre perda de camadas de gelo por mudanças climáticas	Eric Rignot (USA)
2006	console de video game Wii com sensor de movimento	Nintendo (Japão)
2006	videoconferência de alta definição	Polycom (USA)
2007	reprogramação de células (células adultas induzidas ao estado pluripotente de células embrionárias)	Equipes (Japão/USA)
2007	telefone celular iPhone	Apple (USA)
2008	carro elétrico para longa distância	Tesla Motors (USA)
2012	confirmação do bóson de Higgs (teoria da aquisição de massa por partículas subatômicas)	CERN Large Hadron Collider (Suíça)
2012	aprofundamento de estudos das bases neurais da emoção	University of Harvard e University of Southern California (USA)
2013	avanços em experimentos de fusão nuclear	National Ignition Facility (USA)
2013	sonda espacial Voyager 1 no limite do sistema solar	NASA (USA)
2015	missão espacial New Horizons para Plutão e Cinturão de Kuiper	NASA (USA)
