

Extração de sacarose: Uma breve descrição histórico-comparativa sobre a evolução tecnológica dos dois principais sistemas no mundo e algumas considerações quanto ao caso brasileiro

Fabício José Piacente
Doutorando – IE/UNICAMP
Pedro Ramos
Professor – IE/UNICAMP

1. Introdução

Atualmente, a maioria das usinas e destilarias do mundo que utilizam a cana como matéria prima para produzir açúcar emprega o sistema de moenda na extração de sacarose. Esse sistema recebeu ao longo do tempo várias adaptações e modificações com a finalidade de se tornar cada vez mais eficiente.

Um outro sistema de extração de sacarose existente no mundo é o de difusão, que apesar de pouco usado no Brasil, é largamente utilizado em outros países produtores de açúcar como a África do Sul e Estados Unidos. Tal processo e equipamento são de criação mais recente que o da moagem, tendo sido concebido inicialmente para extrair açúcar de beterraba, mas foi modificado para processar cana de açúcar.

Vários autores argumentam que o sistema de difusão, de modo geral, é superior ao da moagem, proporcionando menor perda de açúcar no bagaço, maior capacidade de extração de caldo, menor custo de instalação e melhor qualidade final do caldo extraído.

Contudo, o que se nota é que com o passar do tempo essas duas opções têm-se alternando na preferência de uso conforme o grau de melhoria e aperfeiçoamento técnico empreendido pela indústria fabricante desses equipamentos, mas também são influentes outros aspectos específicos e gerais, inclusive aqueles que decorrem da relação entre produtores e Estado.

2. A evolução do sistema de moagem no mundo até meados do Século XIX: e sua predominância absoluta

O sistema de moagem para a extração do caldo da cana de açúcar é o método mais tradicional, conhecido e disseminado no mundo. Por essas e outras razões, que estão apresentadas neste artigo é o mais utilizado. Consiste basicamente em esmagar os colmos da cana por meio de cilindros compressores, separando ao mesmo tempo o bagaço e o caldo.

A obra clássica de LIPPMANN (1941) relata, para as diversas regiões em que se cultivava a cana de açúcar, algumas das diferentes técnicas empregadas para extrair o caldo. O fato curioso e de destaque nessas descrições é que, apesar das diferentes possibilidades de acionamento descrito por ele: bois, roda d'água, vento ou força humana, o princípio básico da extração é a moenda. A passagem a seguir destaca a extração do caldo para a produção do açúcar no Oriente, entre os Séculos XII e XIV:

“ Os feixes de cana são levados por jumentos ou camelos à “casa da cana”, onde se cortam as “cabeças”, que dão caldo escasso e impuro; depois lascam a cana ao meio, cortam as metades, sobre grandes mesas de madeira (...) levando-os para as moendas de mó e movidas à água, por bois jungidos a um cabrestante ou, á maneira das antigas prensas de óleo, de alavanca ou parafuso” (LIPPMANN, 1941, p. 271)¹.

É importante destacar que, apesar da utilização da moagem, sabia-se que esse processo, ainda rudimentar, não proporcionava uma separação completa do caldo e do bagaço. Logo, utilizavam uma segunda etapa a fim de complementar o processo, conforme destaca o ator:

“Uma moedura por mais completa que seja, não bastava; põe-se o bagaço em espécies de sacos de junco flexível, e espremem-no em rodagens de vai-e-vem ou e prensas de alavancas manejadas a golpes repetido (...) só assim se consegue a regularidade do trabalho ulterior” (LIPPMANN, 1941, p. 271).

No geral, essa segunda etapa de extração citada por Lippman consistia em acomodar a cana macerada no moinho de pedra em uma prensa de madeira acionada por uma manivela ou parafuso e extrair o restante do caldo.

Percebe-se neste caso a atenção dos fabricantes de açúcar da época com a eficiência do processo de extração. O mesmo cuidado é destacado por GALLOWAY (1989, p. 37), ele aponta que os primeiros fabricantes de açúcar da Europa Mediterrânea, que eram considerados tecnologicamente atrasados, moíam os colmos de cana de açúcar para extrair o caldo em equipamentos adaptados. Esses moinhos, como eram chamados, eram construídos originalmente de pedras e destinados ao processamento flores, óleos e frutos, e quando utilizados com cana de açúcar apresentavam um baixo rendimento de extração, sendo necessário uma segunda etapa de moagem. Destaca ainda que toda a força necessária para acionar os mecanismos da moenda era empregada por animais ou por homens.

LIPPMAN (1941, p. 340-341) destaca ainda um método simples e alternativo à moagem para extrair o caldo da cana. Esse método, que fora desenvolvido na Palestina e trazido até a

¹ As moendas de mós, também chamadas de “mós persas” eram fabricadas de pedras e originalmente foram construídas para extrair óleos e sucos de frutas.

Europa pelos cruzados durante o Século XI, consistia em cortar a cana em pequenos pedaços de meio palmo e esmagá-los em um pilão.

Durante toda a Idade Média, várias foram as novas opções adotadas para o acionamento dos moinhos para a extração do caldo da cana. Segundo GALLOWAY (1989, p. 39) foi a utilização da roda d'água como força motriz, inicialmente no Egito e posteriormente na Europa Mediterrânea, que proporcionou ao processo uma melhor eficiência de extração e eliminação da necessidade de uma segunda etapa pós-moagem.

Porém, segundo LIPPMAN (1941, p. 394-395) o grande salto inovativo em busca de uma melhor eficiência na moagem foi dado na primeira metade do Século XV por Pietro Speciale na Itália. Tratava-se de um novo aparelho, denominado de “trapetum”, que era composto de dois ou três tambores de madeira dispostos na posição vertical, movido por uma só engrenagem e que poderia ser acionado por uma roda d'água. Segundo o autor: “(...) a cana passava entre o primeiro e o segundo tambor e depois entre este e o terceiro, e assim se obtinha uma moagem simples, completa e barata” (LIPPMAN, 1941, p. 394-395).

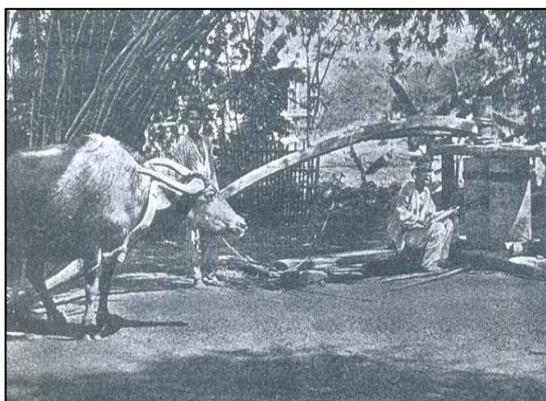


FIGURA 1: Moenda com 2 rolos de madeira
Fonte: SMITH (1912, p. 168).



FIGURA 2: Moenda de 2 rolos (Filipinas-1922)
Fonte: HINES (1923, p. 135).

Esse equipamento essencialmente foi adaptado a partir do antigo “trapenum” utilizado na extração de óleo, a diferença consistia na substituição das pedras que maceravam o fruto da oliveira pelos rolos de madeira dispostos verticalmente (Figura 1 e 2).

Já GALLOWAY (1977, p. 186-187) discorda de Lippman quanto à origem e a utilização pioneira dessa inovação. Segundo esse autor, os relatos da primeira utilização dessa nova disposição de rolos em uma moenda para processar cana de açúcar procedem de engenhos no Peru e no Brasil por volta do início do Século XVI. Além disso, aponta a China como o provável local de origem desse novo equipamento.

Em relação à utilização de moendas de dois rolos de madeira em engenhos nas Américas Central e do Sul, CANABRAVA (1981, p. 116-117) destaca que esse tipo primitivo de equipamento era facilmente observado nas Antilhas Francesas, nas áreas sob dominação holandesa e no Brasil durante o início do Século XVII.

“O defeito capital da velha moenda de dois cilindros horizontal estava na deficiência de pressão. Tão insignificante que, no Brasil, a cana apenas partia, era depois espremida por meio de gangorras ou prensas de vigas – o mais antido aparelho de se extrair o caldo” (CANABRAVA, 1981, p. 116).

Ainda segundo essa autora, no fim do Século XVII esse tipo de moenda de dois rolos já havia sido totalmente substituído pelo modelo de três cilindros dispostos na posição vertical. Destaca que esse equipamento foi introduzido inicialmente tanto nas Antilhas Holandesas quanto no Brasil, no início do Século XVII por espanhóis vindos do Peru.

A adoção desse novo tipo de moenda proporcionou um rendimento maior na produção açucareira uma vez que incrementou a capacidade de extração de caldo dos engenhos. Uma vantagem importante desse tipo de equipamento é que poderia ser facilmente acionado por qualquer fonte de energia conhecida na época. Além disso, tratava-se de um equipamento de construção e manejo simples e, apesar dessas vantagens, apresentava um rendimento ainda modesto, extraía-se no máximo 56% do volume do caldo contido na cana, isso quando se utilizava a força animal² (CANABRAVA, 1981, p. 120).

Durante todo o Século XVII esse tipo de moenda foi a mais empregada no mundo e sofreu apenas algumas modificações incrementais³. A primeira dessas modificações foi à disposição os rolos de madeira na forma de triângulo (desalinhados). Segundo CAIRO (1924, p.85-86), isso permitiu que a cana sofresse duas pressões seguidas com maior facilidade, melhorando seu rendimento de extração e proporcionando um volume de caldo máximo correspondente a 45% do peso das canas.

Além disso, os rolos das moendas passaram a serem fabricados de diâmetros diferentes, esse incremento inovativo permitia que um rolo realizasse um maior número de volta em relação ao seu próprio eixo, aumentando o volume de cana processado e, conseqüentemente, a

² Durante todo o Século XVIII a utilização de moendas movidas a tração animal foi largamente empregada em Pernambuco. CANABRAVA (1981, p. 123-124) aponta que a preferência por esse equipamento vem do seu preço relativamente baixo e da facilidade de operação que dispensava mão de obra especializada.

³ CANABRAVA (1981, p. 119) destaca que a moenda de três tambores, devido a sua simplicidade que permaneceu sem modificações estruturais apreciáveis até início do Século XIX, quando foi substituída pela moenda com cilindros de ferro fundido.

capacidade de extração de caldo da moenda. A diferença no diâmetro dos cilindros das moendas, fora um recurso utilizado pelos construtores para acelerar o movimento do conjunto.

Uma segunda modificação, não mesmo importante, foi a possibilidade de se cobrir os cilindros de madeira com chapas de ferro fundido. Isso possibilitou a ampliação da vida útil da moenda, minimizando o desgaste precoce dos rolos, além de viabilizar a extração do caldo de maneira mais uniforme e eficiente. Segundo CANABRAVA (1981, p. 118), no Século XVII já existiam no Brasil engenhos que adotavam essa técnica.

Lippman na sua obra aponta detalhes de um manual de cultivo de cana e de fabricação de açúcar do início do Século XVIII, na seção referente à extração do caldo descreve os cilindros das moendas utilizadas na época:

“ Os tambores são de ferro fundido e dotados interiormente de uma peça de madeira bem ajustada; os intervalos são untados com breu. (...) A cana, feita em pedaços de 3 a 4 pés, passa entre o primeiro e o segundo tambor, e, depois, em direção contrária, entre este e o terceiro (...) ” (LIPPMAN, 1941, p. 130).

Na obra de Koster, que relata suas viagens pelo Nordeste do Brasil durante os primeiros anos do Século XIX, em ocasião de sua passagem por uma propriedade canavieira em Pernambuco descreve as plantações, o engenho e as etapas de fabricação de açúcar e aguardente. Em relação às características da moenda KOSTER (1942, p. 341-342) aponta que: *“As máquinas de triturar a cana são formadas por três cilindros verticais, feitos de sólida madeira, inteiramente orlados ou revestidos de ferro”*.

Entre o final do Século XVIII e o início do XIX, com o advento da revolução Industrial, os novos conhecimentos de mecânica, siderurgia, química e a renovação da estrutura manufatureira da Europa proporcionaram condições para as importantes inovações nos sistemas de fabricação de açúcar fossem realizadas. Essas inovações eram introduzidas a partir dos EUA e da Europa onde já estava em formação um setor bens de capital direcionado a produzir máquinas e equipamentos para os engenhos de açúcar.

O surgimento das primeiras moendas construídas totalmente de ferro fundido e com três cilindros dispostos na posição horizontal foi a primeira inovação técnica de grande porte para o setor (Figura 4). Segundo MATTOS (1882, p. 20), a melhora na eficiência de extração do caldo é a principal vantagem da disposição horizontal dos cilindros em uma moenda. No modelo anterior, o caldo retirado da cana através da pressão dos cilindros escorria sobre o bagaço antes de chegar a dorna, logo, parte desse caldo era novamente absorvido pelo bagaço e não aproveitado.

Ainda no fim do Século XVIII foram fabricados nos EUA para serem operadas em engenhos em Cuba as primeiras moendas construídas inteiramente de metal fundido. Inicialmente concebidas para trabalhar com tração animal, as moendas Tipo Panamá e a Tipo Chattanooga possuíam três cilindros horizontais e ranhurados. Posteriormente foram adaptas para o acionamento a partir de máquina a vapor (PIACENTE, 2006, p. 8 e 9).



FIGURA 3: Moenda Panamá horizontal
Fonte: CAIRO (1924, p. 42).

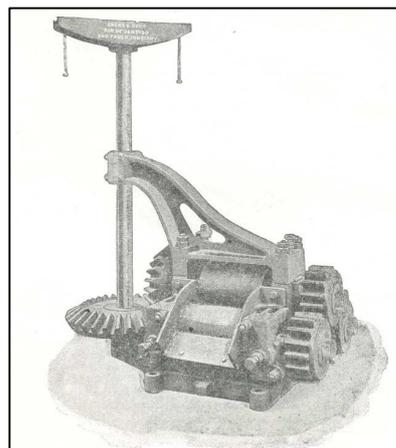


FIGURA 4: Moenda para tração animal
Fonte: CRUZ (1920, p. 44).

Segundo CRUZ (1920, p. 40-43), essas moendas apresentavam algumas vantagens comparativas ao modelo anterior: a eficiência de extração entre 60% e 75% do peso das canas; a possibilidade de regulagem das distâncias entre os cilindros e a sua diversificação de processamento. Destaca ainda que as moendas Tipo Panamá (Figura 3) eram projetadas e fabricadas sob encomenda, conforme a capacidade de processamento do engenho, podendo variar os tamanhos de seus cilindros para produções diárias entre 5 e 15 toneladas de cana.

Os primeiros experimentos com moendas de cana de açúcar acionadas a vapor foram realizados na Jamaica e em Cuba no fim do Século XVIII e segundo GALLOWAY (1989, p. 135), foi a partir do Século XIX que essa opção tecnologia foi disseminada para os engenhos da América Latina e Índia. Ainda conforme esse autor, os engenhos de Cuba foram os que mais aderiram a essa opção principalmente em relação a posição de destaque do açúcar cubano no mercado mundial. Para se ter uma idéia, em 1846 cerca de 20% dos engenhos cubanos eram acionados a vapor, já em 1860 aproximadamente 60% deles adotavam essa tecnologia.

Já no Brasil, devido a dificuldades decorrentes do baixo do preço do açúcar no mercado internacional e dos problemas enfrentados pelos proprietários de engenhos com a proximidade da abolição da escravidão, o setor apresentava-se descapitalizados, logo os primeiros engenhos movidos a vapor só foram instalados em Pernambuco após 1850 (GALLOWAY, 1989, p. 135).

Segundo uma pesquisa realizada em Pernambuco entre os anos de 1854 e 1857, do total de 1.106 engenhos instalados na época, 66% deles utilizavam energia animal, 31% eram acionados por rodas d'águas e apenas 1% possuíam máquinas a vapor. Em 1871 a porcentagem de engenhos movido a vapor em Pernambuco sobe para 6%, em 1881 já representava 21,5% e por volta de 1914 era 34% dos engenhos do Estado que usavam vapor para acionar seu maquinário⁴ (EISENBERG,1977, P. 62).

É fato que os novos conhecimentos tecnológicos introduzidos durante o Século XIX no setor agrícola, mas principalmente nas etapas de processamento da cana e fabricação do açúcar, proporcionou aos proprietários de engenho um salto de eficiência produtividade. Porém, a grande novidade do século foi a entrada do açúcar de beterraba no mercado mundial. Apesar de descoberto na Alemanha, foi na França do Século XIX que a indústria do açúcar de beterraba, beneficiada pelas descobertas tecnológicas da Revolução Industrial, desenvolveu-se mais rapidamente e que aos poucos se tornou um importante produto concorrente do açúcar de cana em toda a Europa.

QUADRO 1: Evolução da produção mundial de açúcar – 1800 a 1880 (1.000 ton)

	1800		1830		1840		1850		1860		1870		1880	
	Ton.	%	Ton.	%	Ton.	%	Ton.	%	Ton.	%	Ton.	%	Ton.	%
Açúcar de cana	245	100	572	100	661	92	907	84	1373	80	1771	65	1795	52
Açúcar de beterraba	0	0	0	0	55	8	169	16	353	20	952	35	1857	48

Fonte: RAMOS (1991, p. 45).

Conforme PIACENTE (2006, p. 10), foi nesse contexto de evolução tecnológica que um novo processo de extração de sacarose - a difusão - teve seu início em 1865 com a instalada da primeira bateria de difusores na indústria açucareira de beterraba.

3. A invenção do sistema de difusão para extração de açúcar de beterraba e a sua adaptação para o uso na cana-de-açúcar

A descoberta do processo de difusão para extrair sacarose da beterraba possibilitou a substituição dos antigos métodos de processamento desse produto, proporcionando mais eficiência, produtividade e escala na fabricação do açúcar de beterraba.

A osmose é o princípio básico dos aparelhos de difusão, os primeiros aparelhos foram construídos na Alemanha e França no fim do Século XIX, a beterraba era inicialmente fatiada minimamente e disposta em uma série de tanques por onde circulava, através de jatos, água

⁴ Sobre a adoção relativamente morosa das inovações tecnológicas pela indústria de açúcar do Brasil ver em (EISENBERG,1977, P. 64-79).

quente. Ao fatiar a beterraba as células que contém a sacarose são expostas, a água quente tem a função de deslocar através de uma “lavagem” esse açúcar para fora dessas células. A massa de beterraba fatiada passava por uma bateria (de até 18 tanques dependendo do tamanho da fábrica) de recipientes e por fim era desaguada em uma moenda, toda a sacarose extraída e diluída em água era encaminhada para as etapas seguintes da produção de açúcar.

Esse novo sistema de extração de sacarose: mais simples, barato, eficiente e que exigia menor consumo de energia foi amplamente estudado, testado e adaptado para o processamento de cana de açúcar ainda no Século XIX. Além disso, as modernas moendas a vapor de três rolos utilizadas nas usinas, ainda apresentavam uma baixa eficiência de extração de sacarose, em torno de 70%, e representavam um investimento inicial elevado.

Entre 1886 e 1889 um estudo coordenado por Spencer, professor do Instituto de Tecnologia da Louisiana, testou o primeiro difusor com cana de açúcar. A partir dessa pesquisa, o interesse por esse equipamento cresceu e foram instalados difusores de cana de açúcar em Cuba, Maurício, Demerara e em outras regiões do mundo (EBELING, 1978, p.11).

Em relação as primeiras descrições do emprego de difusores no Brasil e da sua adaptabilidade para processar cana de açúcar Eisenberg destaca:

“Os Pernambucanos não adotavam, o principal método alternativo para extrair caldo da cana. Inventado pelos fabricantes de açúcar de beterraba, a difusão eliminava os moinhos de rolo e os substituíam por laminais que cortavam as canas longitudinalmente. A cana cortada era repetidamente mergulhada em água quente que lavava o xarope. Afirmava-se que a difusão extraía uma maior percentagem do mais puro xarope de cana, mas exigia maior quantidade de combustível...” (EISENBERG, 1977, p. 62).

QUADRO 2: Estudo comparativo de usinas no Hawaí – safras 1897/1898

Usinas	Cap. processamento (TC/h)	Sistema de extração	Capacidade de extração do caldo (%)
Waialua	53,3	3 moenda + 2 rolos	83,2
D'Oahu	49,6	3 moenda + 2 rolos	83,0
Makaweli	50,3	Difusão direta	94,3

Fonte: Adaptado de COLSON (1905, p. 126-131)

As únicas experiências de difusores instalados no Brasil ainda no fim do Século XIX foram em Pernambuco. EISENBERG (1977, p. 62), destacando artigos de jornais da época, descreve que foram instalados dois equipamentos, um na Usina Ipojuca e outro na Usina Cacaú, em meados de 1895. No primeiro caso a experiência foi frustrante e as moendas voltaram a operar em seguida. Já no segundo, relata o autor, os problemas referentes a demanda de vapor foram resolvidos, o equipamento funcionava satisfatoriamente porém, quando a usina ampliou sua

produção abandonou o difusor e optou novamente pelas moendas. Nota-se neste caso uma nítida comprovação da limitada capacidade de flexibilização de produção dos sistemas de difusores.

Ainda no fim do Século XIX, o crescimento da agroindústria de beterraba fez com que as pesquisas voltadas para a produção de novas moendas mais eficientes se intensificassem principalmente no EUA e Inglaterra. Além disso, problemas ainda não diagnosticados, inerentes a adaptação do processo de difusão para sua utilização com cana de açúcar, impulsionou a indústria de máquinas e equipamentos para processamento da cana a buscar melhorias rápidas objetivando índices mais elevados de extração e de qualidade do caldo das moendas.

Segundo PIACENTE (2006, p. 11) a melhora no rendimento industrial das usinas só foi possível em decorrência da construção de moendas cada vez maiores e da introdução de um novo conceito de moedas acopladas em conjuntos, os denominados trens ou *tandens*. Esse novo sistema acoplado de moenda proporcionou simultaneamente, o aumento da capacidade de esmagamento, a melhora na eficiência de extração do caldo e um bagaço mais seco, o que facilitava sua posterior queima.

QUADRO 3: Comparativo das moendas de acordo com número de rolos e capacidade de esmagamento (início do Século XX)

Tamanho dos cilindros (polegadas)	Quantidade de cana moída em 12 horas (toneladas)			
	3 cilindros	3 cilindros e 2 rolos	6 cilindros e 2 rolos	9 cilindros e 2 rolos
16x16	22	25	36	39
16x20	28	31	46	49
16x24	35	40	55	60
20x24	46	50	70	75
20x30	60	65	90	95
22x42	92	100	135	145
24x48			175	190
28x54			240	275
30x60			300	360

Fonte: Adaptado de CRUZ (1920, p. 51).

Essa nova concepção de conjuntos de moendas interligados foi inicialmente concebida nos EUA no fim do Século XIX e rapidamente disseminada em regiões canavieiras como Cuba, Jamaica e Java. Em um estudo comparativo, CRUZ (1920, p. 39-40) destaca que o máximo de eficiência de extração de sacarose obtido por um terno de moenda com três rolos de 22x24 polegadas de diâmetro era 65%. Já quando se utilizavam dois ternos sequenciais (seis rolos) de 20x36 polegadas cada, o rendimento e extração subia para 80%.

4. A evolução do sistema de moenda ao longo do Século XX

No início do Século XX as indústrias que produziam máquinas e equipamentos para processamento de cana e fabricação de açúcar já estavam instaladas nos principais centros canavieiros do mundo. As recentes inovações desenvolvidas nos EUA e na Europa, trens de moendas, controles hidráulicos de pressão nos rolos e esmagadores, proporcionaram um ganho de eficiência produtiva e um aumento na capacidade de processamento das usinas da época⁵.

O conjunto seqüencial de três e até quatro moendas, cada vez maiores, era largamente utilizada em usinas cubanas e jamaicanas ainda no fim do Século XIX e segundo MATTOS (1882, p. 26-27) substituiu com eficiência as primeiras moendas fabricadas com cinco, seis e até oito rolos. A simplicidade de operação, a eficiência de extração e a possibilidade de flexibilização da produção fizeram dessa opção uma unanimidade em todo o mundo.

Em relação a introdução dos esmagadores e picadores como uma etapa que precede a moagem, e a possibilidade de ampliar o número de ternos de moenda Smith, coloca que:

“... triturador aumenta a sua extração em percentagem de succo sobre o peso da canna, de dois a três por cento (...) Por outros ternos: quando um moinho de seis rolos dê uma extração de 76 a 78 por cento, um de quinze rolos dará 84-95 por cento, nas mesmas condições, mais ou menos” SMITH (1912, p. 167).

QUADRO 4: Principais usinas do Rio de Janeiro em 1912 e suas características

Usinas	Cap. Esmagamento (TC/dia)	Sistema	Cap. de produção por safra (mil sacas)
Quissaman	500	3 moendas com esmagadores	90
Mineiros	350	3 moendas	50
Barcellos	350	2 moendas	50
Limão	250	2 moendas com esmagadores	35
São João	240	2 moendas	30
São José	200	2 moendas	25
Das Dores	250	2 moendas	25

Fonte: Adaptado de SOBRINHO (1912, p. 25-43)

Apesar das vantagens oferecidas, os conjuntos de moendas no Brasil só se tornaram comum a partir do início do Século XX, principalmente em Pernambuco onde a produção canavieira se apresentava mais desenvolvida. No Rio de Janeiro, apesar de alocar historicamente importantes engenhos e usinas, o processamento da cana e a fabricação do açúcar ainda eram realizados através de métodos menos modernos e poucos eficientes.

De maneira geral, as inovações do campo da fisiologia da cana de açúcar, a partir da segunda metade do Século XX, possibilitaram importantes avanços na concepção dos novos

⁵ Vale a pena destacar que esses esmagadores foram ao longo do tempo sendo substituídos por desfibriladores e picadores, equipamentos mais eficientes e que atualmente proporcionam uma melhora na eficiência de extração (PAYNE, 1989, p. 46).

equipamentos para extração de sacarose. A atenção especial para o preparo da cana, etapa que precede a moagem, foi fundamental para melhorar os índices de extração de açúcar. A introdução de picadores de facas e dos desfibriladores (*shredders*) foram motivados por esses avanços. São equipamentos que precedem a etapa de extração do caldo e responsáveis pela abertura das células da cana, facilitando e aumentando a eficiência dos equipamentos de extração (PIACENTE, 2006, p. 13).

QUADRO 5: Principais usinas paulistas nas safras de 1910 e 1911 e suas características

Usinas	Sistema	C. E. (TC/dia) ¹	Safra 1910		Safra 1911	
			TC moída	Açúcar (sacas)	TC moída	Açúcar (sacas)
Ester ²	Difusor	230	-	-	-	30.000
Piracicaba	3 moendas com desfibrador	500	58.900	92.800	82.800	95.850
V. Rafard	3 moendas	350	47.600	69.810	36200	39.160
Lorena	4 moendas	270	18.700	25.540	14.900	20.000
Porto Feliz	2 moendas	250	13.800	21.430	9.900	12.500
Amália	3 moendas	300	36.000	49.800	17.000	24.000
Freitas	3 moendas	200	-	-	4.100	5.300
M. Alegre	2 moendas	250	30.000	37.000	20.000	27.000
Itahyquara	2 moendas com esmagador	200			4.137	5.000
Schmidt	1 moenda com repressão	200	19.071	23.600	14.000	17.000
Pimentel	3 moendas com esmagador	128	8.100	7.000	-	-
Cachoeira	1 moenda	38	3.052	3.307	-	-
Barra	1 moenda	20	1.200	1.000	800	600

Fonte: Adaptado de SOBRINHO (1912, p. 94-96).

Nota:¹ C. E. corresponde a capacidade máxima de extração.

² Ver mais sobre a difusão na Usina Ester em RAMOS. & PIACENTE (2005).

QUADRO 6: Maiores usinas de cada país em capacidade de esmagamento - 1937

Cuba		EUA		Brasil		Australia	
Usina	Ton/dia	Usina	Ton/dia	Usina	Ton/dia	Usina	Ton/dia
Morón	8.370	Clewiston	4500	S. Therezinha	1800	Hambledon	2400
Vertientes	8.370	Raceland	2400	Catende	1768	Macknade	1900
Boston	6.064	Southdown	2200	Tiúna	1687	Mulgrave	1990
Preston	3.400	Reserve	2000	Barreiro	1460	Mourylian	1730
Santa Lucía	2.900	Oaklawn	1900	U. Industria	1300	Babinda	1710
Jaronú	1.250	Cinelare	1800	Quissaman	1200	Cattle Creek	1680

Fonte: Sugar Reference Book and Directory (1937, p. 63-156).

Os esmagadores de dois rolos, antes comuns em moendas, atualmente são utilizados para o preparo de cana, são instalados antes da primeira moenda e potencializam o seu papel. Atualmente, o sistema mais usual para a extração de sacarose da cana de açúcar é a moagem.

As sucessivas experimentações realizadas ao longo dos anos possibilitaram uma conformação seqüencial de equipamentos que permite uma extração de caldo na moagem entre 93% e 96%. Essa conformação é composta de uma primeira etapa de preparo da cana composta de: picadores e desfibriladores; e uma segunda etapa de esmagamento composta de seis ternos de moendas dotados de rolos complementares de pressão e repressão (*press-roler*) e com embebição completa e composta entre os ternos⁶.

QUADRO 7: Alternativa de composição dos sistemas de moagem

Número de ternos	Cilindros	Extração	Tonelada de cana	Tonelada de fibra
1 terno de moendas	3	75	100	12
1 terno de moendas e 1 esmagador	5	80	125	15
2 ternos de moendas e 1 esmagador	8	85	150	18
3 ternos de moendas e 1 esmagador	11	90	200	24
4 ternos de moendas e 1 esmagador	14	95	225	27

Fonte: BAYMA, 1974, p. 30.

5. A evolução do sistema de difusão ao longo do Século XX

Os primeiro aparelhos de difusão utilizados para processamento da cana de açúcar não apresentaram os resultados esperados e o emprego desse sistema para extração de sacarose foi praticamente abandonado durante todo o início do Século XX. Tratava-se de equipamentos de difusão descontínuos, compostos por uma bateria de tanques onde a cana picada era depositada e “lavada” através de jatos de água quente. A sacarose diluída nessa água era posteriormente retirada em outras etapas.

Segundo DELGADO & CEZAR (1981, p. 334), apesar do interesse inicial pelo processo de difusão e dos inúmeros tipos de difusores testados, desenvolvidos e instalados durante o fim do Século XIX e início do XX, a indústria açucareira mundial de cana passa a abandonar essa nova tecnologia. Alguns problemas não resolvidos em relação a secagem do bagaço que saía do difusor, de engenharia, de fisiologia da cana e microbiológicos não estimularam as pesquisas nessa área.

Além disso, conforme já descrito nesse artigo, inovações na área da engenharia possibilitaram a construção de novas moendas, mais modernas e eficientes, fazendo desse sistema praticamente absoluto até metade do Século XX.

⁶ PARAZZI & FERRARI (1981, p. 174) destacam uma série de fatores que fazem variar a capacidade de extração das moendas, entre esse fatores: teor de fibra; preparo de cana; alimentação das moendas; dimensão da moendas; velocidade das moendas; número de rolos; pressão hidráulica; ranhuras; embebição, entre outros.

Apesar disso, no início do Século XX foi instalado na Usina Éster em Cosmópolis-SP um conjunto de difusores descontínuo compostos por 18 tanques que operava em conjunto com duas moendas, esse processo também chamado de difusão após moendas, ou difusão do bagaço, ficou em operação durante algumas safras e posteriormente foi substituído por ternos de moendas (RAMOS & PIACENTE, 2005).

Em relação à eficiência de extração desse difusor instalado na Usina Éster, Sobrinho destaca que o rendimento médio industrial fica em torno de 9,5%, ou seja, 9,5 kg de açúcar para cada 100Kg de cana processada. Descreve ainda que:

“A uzina adota o methodo da diffusão que tem sobre todos os demais, a vantagem de maior extracção o assucar som forma chimicamente mais pura, empregando para tal fim mecanismo menos complexo do que o da tríplice pressão com moendas e, potanto enos sujeito a interrupção, porém, de muito mais difficil direção” SOBRINHO (1912, p. 81-82).

Apesar do desinteresse pelo difusor por parte da industria de máquinas e equipamentos para processamento de cana de açúcar, no campo da industria de beterraba, muitas pesquisas foram desenvolvidas com a finalidade de aperfeiçoar esse sistema e torná-lo contínuo. Segundo DELGADO & CEZAR (1981, p. 334), após experiências de Hildebrant sobre o emprego da difusão contínua em beterraba, na Alemanha, foram desenvolvidos vários tipos diferentes de difusores, tornando sua operação mais simples, eficientes e econômica.

Segundo EBERLING (1967, p. 33-35), Nicolaas Nobel foi o primeiro a projetar e testar em Java, por volta de 1927, um aparelho que seria o precursor dos modernos difusores contínuos, tratava-se de uma esteira perfurada onde se colocava a cana e extraía a sacarose através de jatos de água quente.

No Egito o sistema de difusão aplicado a cana de açúcar se desenvolveu durante o início do Século XX, segundo MAXWELL (1932, 334-335) o processo de aperfeiçoamento desse sistema se iniciou em 1904 quando foram instaladas baterias de difusores descontínuos nas fábricas de Nag-Hamadi e Abou-Kourgas. Na década de 1920 foi desenvolvido o processo Naudet de difusão de bagaço, tratava-se de um processo contínuo misto de moagem e difusão, muito eficiente e que passou a ser utilizado em importantes regiões açucareiras do mundo como na Louisiana, no Havaí e na África do Sul. Esse sistema, também chamado de “difusor de bagaço” foi melhorado, mas sua concepção original só foi substituída entre as décadas de 1950 e 1960, com descobertas recentes na área da fisiologia celular da cana.

A partir da década de 1960 vários fabricantes desenvolveram equipamentos de difusão para cana de açúcar, todos os tipos disponíveis apresentam o mesmo princípio químico fundamental e

as etapas básicas de preparo de cana, difusão e o deságüe. Segundo HUGOT (1969, p. 403-446) a diferença entre eles depende basicamente do material processado: difusor de cana ou de bagaço; da forma de construção: oblíquos, horizontais e circulares; e do seu princípio de funcionamento: lixiviação ou maceração⁷.

As principais marcas de difusores patenteados em funcionamento nas diversas regiões do mundo são as seguintes: a) difusor oblíquo: DDS; b) difusor horizontal: De Smet e BMA e; c) difusores circulares: Silver, Saturne e Suchem (DELGADO & CESAR, 1985, p. 341).

Em 1968 o primeiro difusor contínuo instalado no Brasil passou a operar na Usina S. Francisco no Rio Grande do Norte⁸. Tratava-se de um difusor modelo oblíquo de fabricação dinamarquês modelo D.D.S. projetado para processar 1.000 toneladas diárias de cana de açúcar e que foi instalado em conjunto com quatro moendas, duas antes e duas depois do difusor (Figura 5)⁹. A expectativa dos fabricantes desse aparelho era superar a eficiência de extração dos quatro ternos de moendas que ficava em torno de 90%, passando para 97% (Figura 6).

PARAZZI & FERRARI (1981, p. 22-24) observaram já na primeira safra desse equipamento um aumento entre 25 e 30% na capacidade instalada de processamento de cana e índices de eficiência na extração de sacarose em torno de 97,3%.

QUADRO 8: Comparação entre sistema de moagem e moagem-difusão D.D.S. - 1966

Sistema de Trabalho		Cana (TC/dia)	Extração (%)	Açúcar (ton/dia)	Rend. ind. (Kg aç./TC)
1	4 ternos de 26x48"	8.251	92,49	827	100,23
2	4 ternos mais difusor D.D.S.	8.497	96,87	914	107,57
Melhoria comparativa (2/1)		2,98%	4,74%	10,52%	7,32%

Fonte: Adaptado de DELGADO & CEZAR (1981, p. 346).

Nota: Difusor D.D.S. instalado na Usina Tanganyika, Tanzânia – África.

⁷ Até meados da década de 1970, todos os difusores contínuos disponíveis no mercado operavam com bagaço de cana em uma conformação básica de: 1 picadores de navalha + 1 desfibrilador (*shredder*) + 1 moena + 1 difusor pequeno + 2 ternos de moendas desaguadores. Posteriormente, com o processamento exclusivo de cana a conformação se altera para: : 1 picadores de navalha + 1 desfibrilador (*shredder*) + 1 difusor grande + 2 ternos de moendas desaguadores

⁸ Esse equipamento: "... foi financiado totalmente pelo BNDE, dentro do acordo firmado entre o Brasil e a Dinamarca, ou seja, pagamento de 7 (sete) anos com 2 (dois) anos de carência" (Boletim COPERESTE, 1968).

⁹ A D.D.S. instalou durante a década de 1960 sete difusores: o primeiro em Tanganyika Planting, na Tanzânia; o segundo com capacidade nominal de 1.500 TC diárias em 1963 em Reunion; no mesmo ano o terceiro com capacidade de processar 2.000 TC/dia na Balapur Co. Ltda, na Índia; o quarto na S. Francisco; a quinta unidade na Phantan Sugra para 1.500 TC/dia, também na Índia; o sexto nas Filipinas para 3.600 TC/dia; eo sétimo, com capacidade de 2.000 TC/dia na Índia.

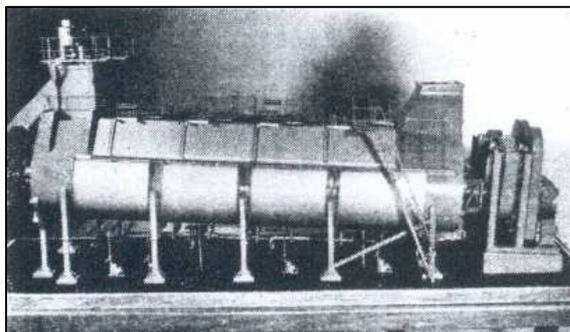


FIGURA 5: Difuso DDS (U. S. Francisco)
Fonte: CPERESTE (1968).

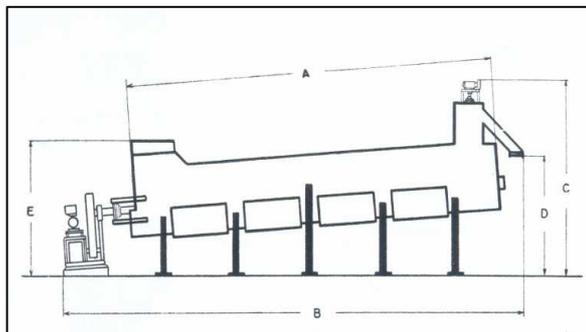


FIGURA 6: Esquema de um difusor DDS
Fonte: CPERESTE (1968).

Durante a década de 1970, alguns aparelhos de difusão circular tipo Silver e Saturno foram instalados no Hawaí e em Maurício. Esses equipamentos, muito flexíveis operavam principalmente com cana e apresentaram rendimentos satisfatórios quando comparados com os tradicionais sistemas com ternos de moendas. Esse tipo de equipamento foi licenciado exclusivamente para ser fabricado no Brasil pela Jaraquá S.A., porém, não se tem notícia de equipamentos desse tipo que tenha sido fabricado por essa empresa e instalado no país.

QUADRO 9: Resultados obtidos com difusor de cana circular Saturno e Silver

	Usina Maurítius – Maurício ¹			Usina Pioneer – Hawaí ²	
	Moagem	Difusor Saturno		Moagem	Difusor de Cana Silver Média 7 safras
		Moagem-Difusão	Difusão		
TCH	95,2	99,2	100	478	506
Extração (%)	95,6%	96,5%	96,6%	93,37%	97,59%
Perda sacarose no bagaço (%)	2,47%	1,99%	1,36%	2,92%	1,07%

Fontes: Adaptados de PARAZZI & FERRARI (1981, p. 23-24) e SACCHARUM (1981, p. 36-38).

Notas: ¹ Dados: moagem e moagem-difusão safra de 1973 e de difusão safra de 1976.

² Autor não publicou as safras referentes ao estudo.

Os difusores de cana horizontais, concebidos originalmente dos primeiros equipamentos desenvolvidos no Egito para processar bagaço, são atualmente os mais utilizados na agroindústria canavieira mundial. Esse tipo de equipamento é composto inicialmente por uma etapa de preparo de cana com dois picadores e um desfibrilador; seguido do difusor, que tem a forma de uma caixa comprida com uma esteira interna que conduz lentamente a cana picada enquanto bicos de água quente “lavam” a cana retirando a sacarose; e por fim dois ternos: um desaguidor e outro secador.

QUADRO 10: Comparação entre difusores de cana horizontal de diferentes fabricantes

	C. Açúcareira Montelimar - Nicarágua			C. Açúcareira Entumeni – África do Sul		
	<i>Moagem</i>	<i>Difusor BMA</i>	<i>Var. %</i>	<i>Moagem</i>	<i>Difusor De Smet</i>	<i>Var. %</i>
	1963/65	1968/70		1965/66	1967/70	
TCH	31	52	67,74%	28	56,5	101,79%
Extração (%)	92,89	96,32	3,69%	93,68	95,80	2,26%
% sacarose no bagaço	3,05	1,44	-52,79%	2,71	1,7	-37,27%

Fonte: Adaptado de PARAZZI & FERRARI (1981, p. 27-28)

Durante a década de 1970, muitos difusores horizontais de cana B.M.A. e De Smet foram instalados principalmente na África do Sul e América Central (Figura 7). Devido a sua simplicidade de operação, eficiência de extração e flexibilidade no processamento diário. No Brasil o primeiro difusor desse tipo começou a operar em 1985 na Usina Galo Bravo em Ribeirão Preto. Segundo ANSEMI (2006, 28-29), a elevada eficiência na extração de sacarose observado na usina - que aproximou-se dos 98% - passou a ser o principal trunfo dessa novidade tecnológica no Brasil. A partir de então as vantagens apresentadas por esse equipamento têm atraído cada vez mais empresários do setor.

QUADRO 11: Unidades com difusores de fabricação nacional instaladas e em construção

Nome	Ano	Capacidade (TC/dia)
Galo Bravo	1985	4.000
Vale do Rosário	1996	12.000
Cruz Alta	1987	10.000
Providencia (Argentina)	1998	12.000
Cevasa	1999	6.000
Vale do Paranaíba	2001	8.000
Dracena	2003	6.000
S. Francisco	2004	12.000
Lacassine - EUA	2004	12.000
S. João Araras II	2005	12.000
Gasa	2006	15.000
Ituiutaba Bioenergia	2006	12.000
Oroeste	2006	10.000
Unialco – V. Paraná	2006	12.000
Frutal	2006	12.000
Guariroba	2006	10.000
S. Francisco	2006	12.000
Tropical	2006	12.000
C. Itumbiara Bioenergia	2007	12.000

Fonte: Sermatec (www.sermatec.com.br).

Atualmente o custo de implantação, de manutenção dos equipamentos, o baixo risco de infecção dentro do difusor e sua alta confiabilidade de operação mecânica, segundo NASCIMENTO (2006), são as vantagens atrativas. Estaca ainda que o preço de instalação de um difusor equivalente a seis ternos de moenda em capacidade de extração chega a custar 30% mais barato.

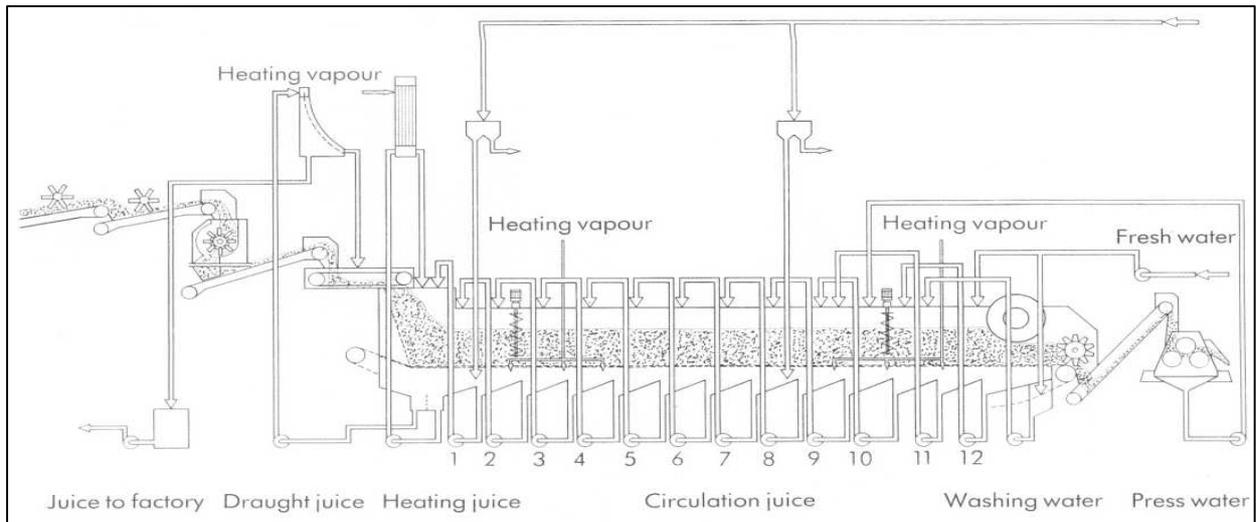


FIGURA 7: Esquema de um difusor horizontal B.M.A.

6. Observações finais

A evolução do sistema de moendas para extração de sacarose apresentou, ao longo de sua trajetória tecnológica, melhorias originadas a partir dos conhecimentos técnicos acumulados com experiências adquiridas no tempo. Inicialmente, essas inovações eram incorporadas a partir do desenvolvimento e pesquisa industrial realizadas na Europa e EUA. No caso do Brasil, essas melhorias ocorreram de forma mais lenta que em outras partes do mundo, devido principalmente a estrutura do seu parque industrial e a forte intervenção do Estado na agroindústria canieira a partir da década de 1930.

No caso da difusão, os conhecimentos acumulados através de experiências de novos equipamentos a partir da produção açucareira de beterraba na Europa foram fundamentais para a utilização com sucesso desse princípio químico com a cana de açúcar.

As melhorias obtidas em outras áreas foram importantes para a evolução tecnológica desses dois sistemas. Nota-se neste acaso que, o uso de informações extraídas do conhecimento formal de outras ciências, como a mecânica e principalmente a biologia celular a partir da década de 1960, foram fundamentais para ampliar a base de conhecimento sobre a qual a inovação é apoiada e difundida.

Vale a pena destacar que, segundo informações recentes, um novo sistema de extração de sacarose encontra-se em testes e adaptações finais no Centro de Tecnologia Copersucar. Esse sistema, conhecido como “Sistema de Extração Hidrodinâmico”, foi concebido por Rivière, um técnico e empresário açucareiro da Ilha de Reunião no Oceano Índico. Foi idealizado a partir da adaptação e utilização inovadora de conceitos já existentes, no caso o princípio do deslocamento,

para a extração de sacarose. Segundo especialistas, esse sistema ainda encontra-se em testes e não existe uma previsão para entrar no mercado (ROBERTO, 2006).

7. Referências Bibliográficas

- ANSEMI, R. (2006). Difusor x Moenda. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Industrial. Ed. nº 147, março de 2006.
- BAYMA, C. (1974). Tecnologia do açúcar. Da matéria-prima à evaporação. Rio de Janeiro, IAA, Coleção Canavieira n. 13.
- CAIRO, N. (1924). O Livro da Canna de Assucar. Curityba: Empreza Graphica Paranaense, 2º Edição, 1924.
- CANABRAVA, A. (1971). “A grande lavoura”. In HOLANDA, S. B. de, História Geral da Civilização Brasileira. Vol.6 (Brasil Monárquico), São Paulo, Ed. Difel.
- COLSON, L. (1905). Culture et Industrie de la Canne a Sucre aux Iles Hawai et a la Réunion. Paris: Augustin Challamel, 1905.
- CRUZ, C. D. (1920). Os Pequenos e Grandes Engenhos. São Paulo: Livraria Magalhães, 1920.
- DELGADO, A. A. & CESAR, M. A. (1985). Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana. Piracicaba, Volume I, 1985, (mimeo).
- EISENBERG, P.,(1977). Modernização sem mudança. Rio de Janeiro, Ed. Paz e Terra, Campinas, Unicamp.
- EBELING, C. (1978a). Difusor de cana para destilarias autônomas (Parte I). Brasil Açucareiro. V. 91, Nº 5, Maio 1978, pp. 19-27
- EBELING, C. (1978b). Origens e princípios da difusão (Parte II). Brasil Açucareiro. V. 91, Nº 6, Junho 1978, pp. 11-19.
- GALLOWAY, J. H. (1989). The sugar cane industry: an historical geography from its origins to 1914. Cambridge University Press, 1989.
- HINES, C. W. (1920). A Produção de Assucar. *Revista La Hacienda*. Fevereiro de 1920.
- HUGOT, E. (1969). Manual da Engenharia Açucareira. São Paulo: Mestre Jou. Vol. I e II, 1969.
- KOSTER (1942). Viagens ao Nordeste do Brasil. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1942.
- LIPPMANN, E. O. V. (1941). História do Açúcar. Rio de Janeiro: Leuzinger S. A. Vol. I e II, 1941.
- MATTOS, A.G. (1882). Esboço de um Manual para os Fazendeiro de Assucar no Brasil. Rio de Janeiro: Perseverança, 1882.
- MAXWELL, F. (1932). Modern Milling of Sugar Cane. London: Noran Rodger, 1932.
- NASCIMENTO, D. (2006). Difusor bem difundido. *Revista IDEA NEWS*. Nº 72, outubro de 2006.
- PARAZZI, C. & PERRARRI, S. E. (1981). O processo de extração de açúcar por difusão na agroindústria canavieira. Brasil Açucareiro. V. 98, Nº 3, Setembro 1981, pp. 18-32.
- PAYNE, J. H. (1989). Operações unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo: Nobel / STAB, 1989.
- PAYNE, J. H. (1976). *Difusão*. In: IV SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDUSTRIA AÇUCAREIRA. Águas de Lindóia, S.P, 1976.
- PIACENTE, F.J. (2006). “Inovação e Progresso Tecnológico: Uma discussão teórica e um estudo de caso de Complexo Agroindustrial”. In: I CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE HISTÓRIA ECONÔMICA E III ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA ECONÔMICA. Campinas-SP. Anais..... UNICAMP: ABPHE – Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica, 2006. CD-ROM.

- RAMOS, P. (1999). Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil. São Paulo: Editora. Hucitec, 1999.
- RAMOS, P. & PIACENTE, F.J. (2005). “A história de uma usina ‘diferente’: O emprego do difusor pela Usina Ester e algumas particularidades de sua trajetória de expansão entre 1898 e 1975”. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE HISTÓRIA ECONOMICA E 7ª CONFERENCIA INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DE EMPRESAS. Conservatória-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: ABPHE – Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica, 2005. CD-ROM.
- ROBERTO, C. (2006). Extração Revolucionária. Revista Eletrônica Idea News. Matéria Especial, janeiro de 2006. Documento eletrônico [online] Disponível na Internet via: <http://www.ideaonline.com.br/ideanews/ideanews.asp?cod=25&sec=1>. Acessado em 01 de janeiro de 2007.
- SOBRINHO, J. B. (1912). A lavoura da canna e a industria assucareira. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Co., 1912.
- SMITH, T. (1912). Processos Modernos no Fabrico do Assucar de Canna. *Revista La Hacienda*. Março de 1912.
- SUGAR Reference Book and Directory (1937). London: Russell Palmer Publisher, 1937.
- USINA de açúcar instala difusor montado no Brasil. Boletim Informativo COPERESTE. Ribeirão Preto, 7 (5), maio de 1968.