

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Ciência e tecnologia em cachaça

André Ricardo Alcarde

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Piracicaba, abril de 2023



CACHAÇA

1. Definição, composição e regulamentação
2. Importância: aspectos econômicos e sociais
3. Processo de produção
 - 3.1. Fermentação
 - 3.2. Destilação
 - 3.3. Envelhecimento

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



CACHAÇA:

denominação típica e exclusiva da aguardente de cana nacional,

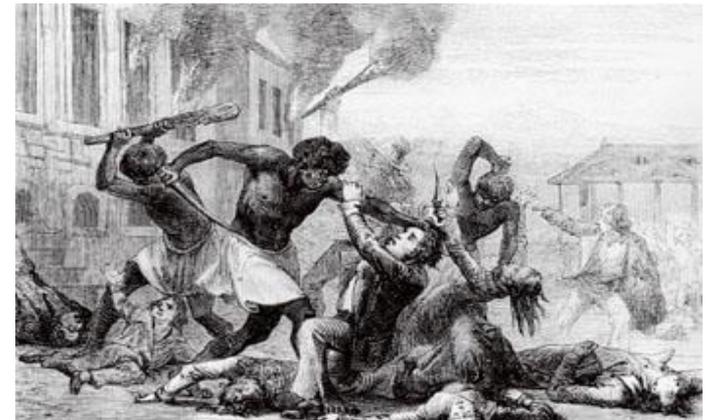
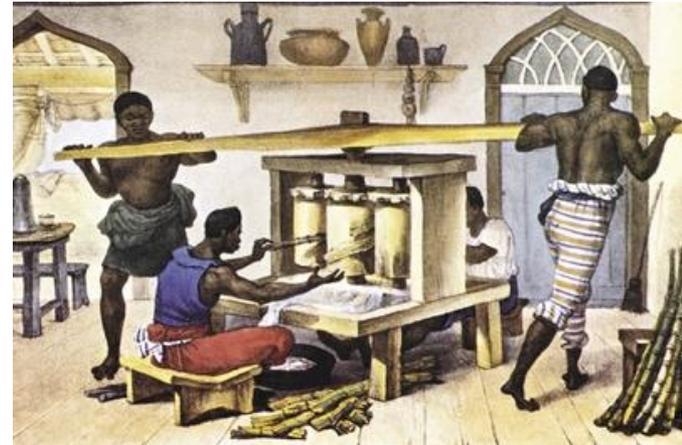
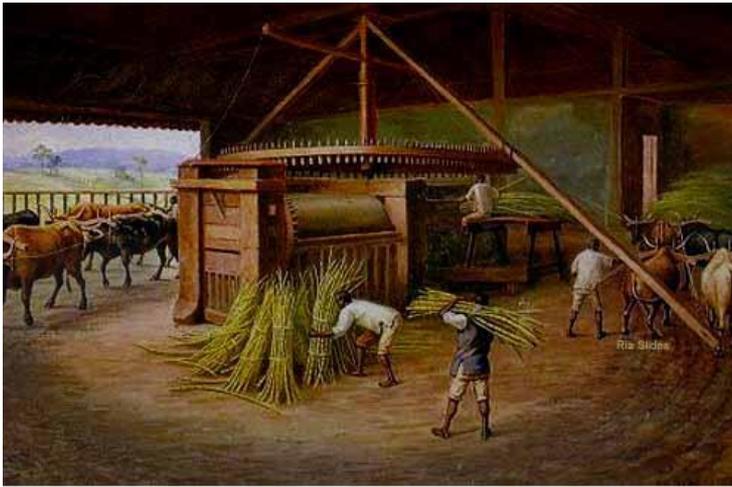
...



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



ORIGEM DA CACHAÇA



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



CACHAÇA:

denominação típica e exclusiva da aguardente de cana nacional, com **38 a 48%** de etanol (v/v), obtida pela destilação de mosto fermentado de cana-de-açúcar, **com características sensoriais peculiares.**

... e com composição química adequada.



AGUARDENTE DE CANA: **38 a 54%** de etanol (v/v), obtida pela destilação de mosto fermentado de cana-de-açúcar ou do destilado alcoólico simples de cana (54 a 70% de etanol v/v).

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



CACHAÇA e AGUARDENTE DE CANA:

Anuário da Cachaça, 2022

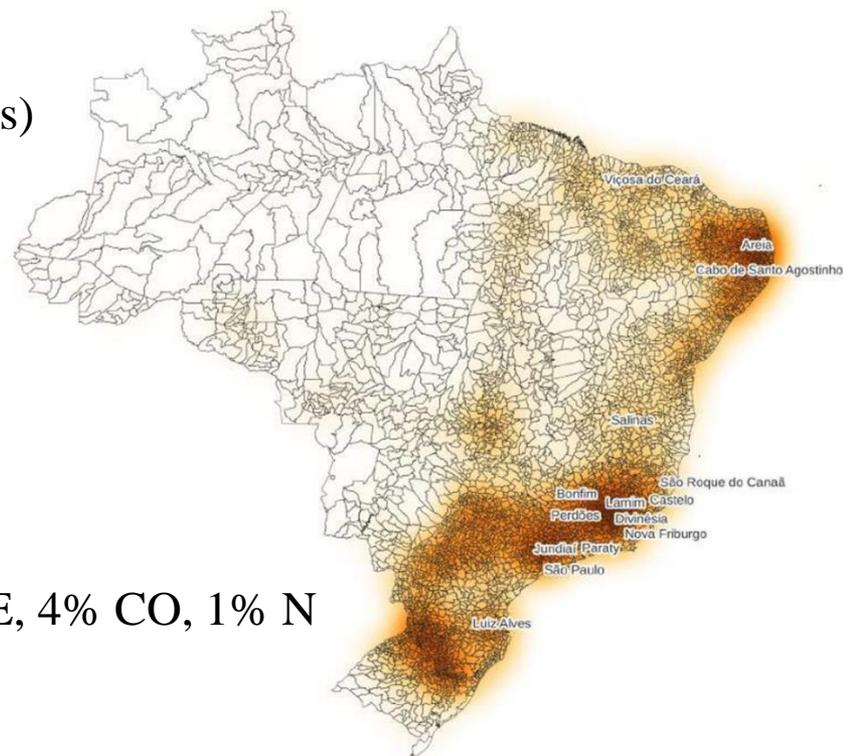
- 936 produtores registrados (4.969 marcas)

↳ 38% MG; 15% SP; 7% ES;

6% SC, RJ, RS;

4% PB; 3% GO, CE, PR

- 66% SE (44% SP), 15% S, 14% NE, 4% CO, 1% N



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



CACHAÇA:

- 4ª bebida destilada mais produzida no mundo (800 milhões de L/ano)
- US\$ 600 milhões/ano
- 600 mil empregos
- Exportação: < 1% (2019: 7,3 milhões de litros; 2020: 5,5 milhões de litros; 2021: 7,2 milhões de litros; 2022: 9,3 milhões de litros)
(Estados Unidos, Alemanha, Paraguai, Portugal, França e Itália)





COMO É EXPRESSA A QUALIDADE?

QUALIDADE QUÍMICA

Composição de congêneres e ausência de contaminantes

QUALIDADE SENSORIAL

Cor, sabor, aroma, textura (viscosidade), design e beleza da garrafa



Existe um PADRÃO DE QUALIDADE para a cachaça?

**Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ)
da Cachaça**

Portaria 539, 26/12/2022 (MAPA)





COMPOSIÇÃO QUÍMICA (Água, Etanol e Congêneres)

COMPONENTE	LIMITES (mg/100mL AA)	
	Mínimo	Máximo
Acidez volátil, em ácido acético	-	150
Ésteres, em acetato de etila	-	200
Aldeídos, em aldeído acético	-	30
Furfural + Hidroximetilfurfural	-	5
Álcoois superiores*	-	360
Coeficiente de congêneres**	200	650

* Σ 1-propanol + iso-butanol + álcool isoamílico

** Σ Acidez volátil + Ésteres + Aldeídos + Álcoois superiores + Furfural

até 6 g/L de açúcar; 6-30g/L = “adoçada”



CONTAMINANTES

Contaminantes Orgânicos:

Metanol (máx. 20 mg/100 mL de AA)

Carbamato de etila (máx 210 µg/L)

Acroleína (máx 5mg/100mL de AA)

2-butanol (máx 10mg/100mL de AA)

1-butanol (máx 3mg/100mL de AA)

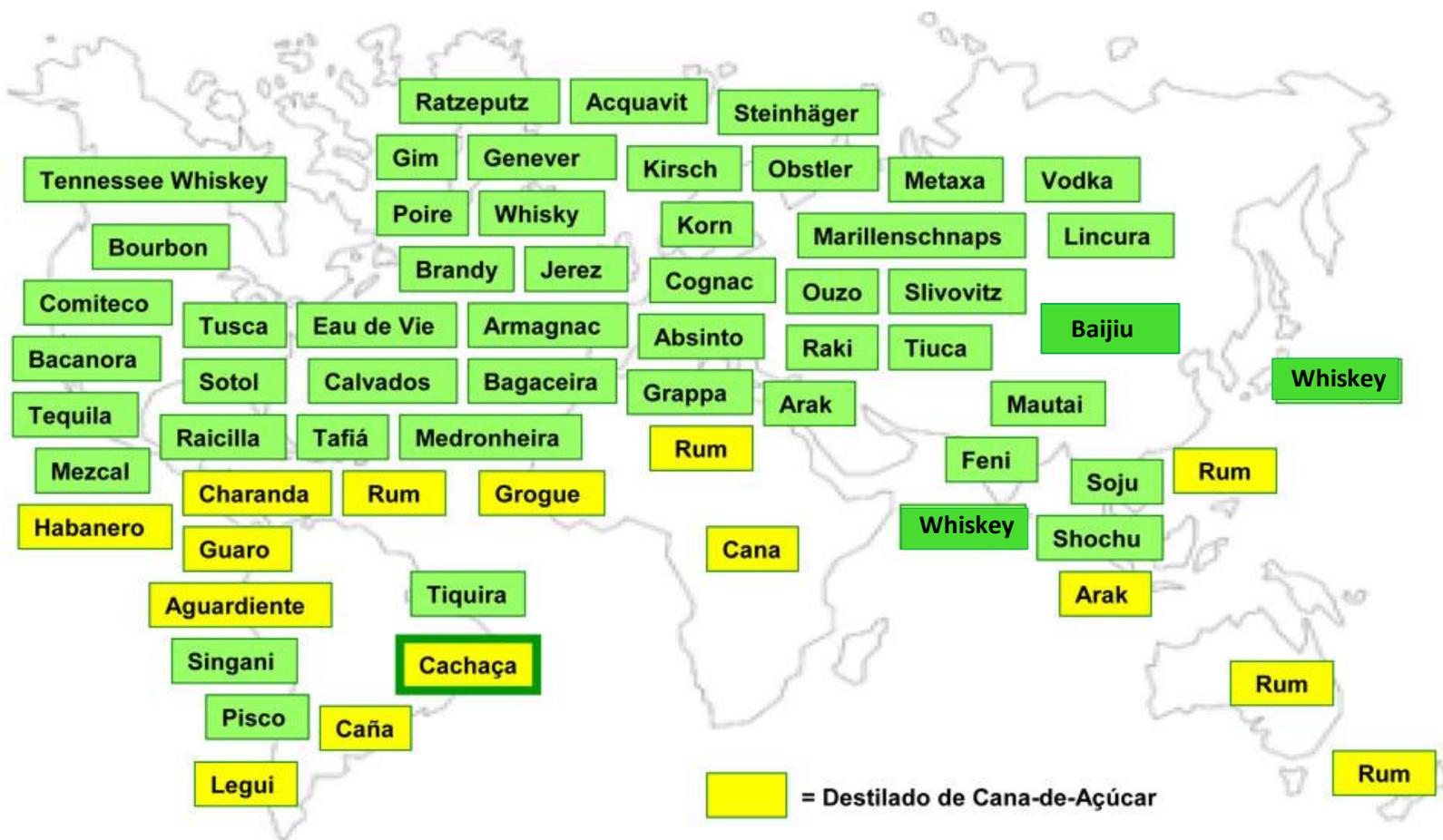
Contaminantes Inorgânicos:

Cobre (Cu) (máx 5mg/L)

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



DESTILADOS NO MUNDO





Whisky

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cognac

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça

Cachaça: ciência, tecnologia e arte





Cachaça ???

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Qualidade da aguardente nacional (até 2012)

Ano	% em não conformidade com a legislação
1992 ¹	66%
1995 ²	65%
2003 ³	48%
2012 ⁴	51%

¹STUPIELLO, J. P. Destilação do vinho. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. (Ed.) Aguardente de cana: produção e qualidade. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p. 67-78.

²VARGAS, E. A.; GLÓRIA, M. B. Qualidade da cachaça de cana (*Saccharum officinarum*, L.) produzida, comercializada e/ou engarrafada no Estado de Minas Gerais. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 15, n. 1, p. 43-46, 1995.

³MIRANDA, M.B.; MARTINS, N.G.S.; BELLUCO, A.E.S.; HORII, J.; ALCARDE, A.R. Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.27, n.4, p.897-901, 2007.

⁴BORTOLETTO, A.M.; ALCARDE, A.R. Assessment of ethyl carbamate contamination in cachaça (Brazilian sugar cane spirit). Beverages, v. 2, n.4, p. 28, 2016.

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



O que é uma cachaça de QUALIDADE?

“Aquele que agrada o consumidor,
de forma segura”





Como produzir uma cachaça de QUALIDADE?

Processo de produção



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Processo de produção: Diferencial da ESALQ nos estudos com cachaça:



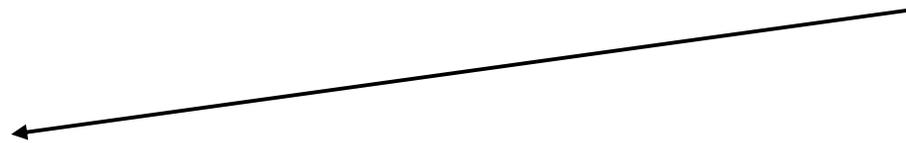
Cana-de-açúcar



Preparo do mosto



Fermentação



Destilação



Envelhecimento



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Na Esalq ensinava-se tecnologia das aguardentes desde sua constituição (livro editado em 1916 com a ementa da disciplina à época). A planta da Esalq ao fim do século 19 (Museu Luiz de Queiroz) mostra a localização de uma projetada destilaria



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



1950 - fundação do Instituto Zimotécnico (IZ): pesquisas microbiológicas, industriais e bioquímicas na área de fermentação alcoólica

1956 - inauguração da destilaria da Esalq (Destilaria Prof. Juvenal Mendes de Godoy): planta piloto de ensino, pesquisa e extensão em produção de etanol e de aguardente



2012 - inauguração da nova destilaria da Esalq: planta piloto de ensino, pesquisa e extensão em produção de aguardente



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Prof. Jaime Rocha de Almeida



Prof. Octavio Valsechi



Prof. Urgel de Almeida Lima

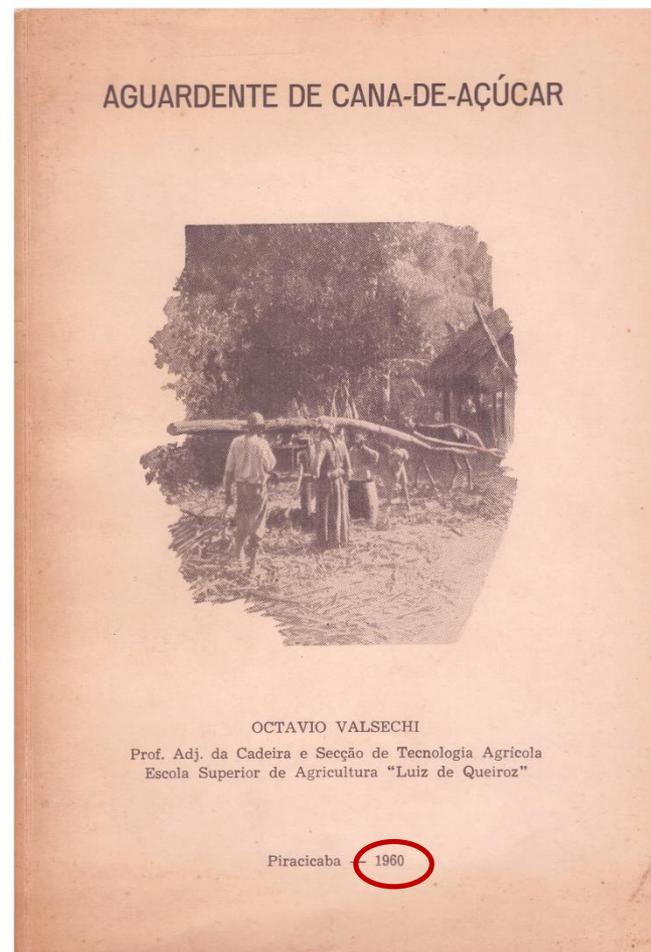
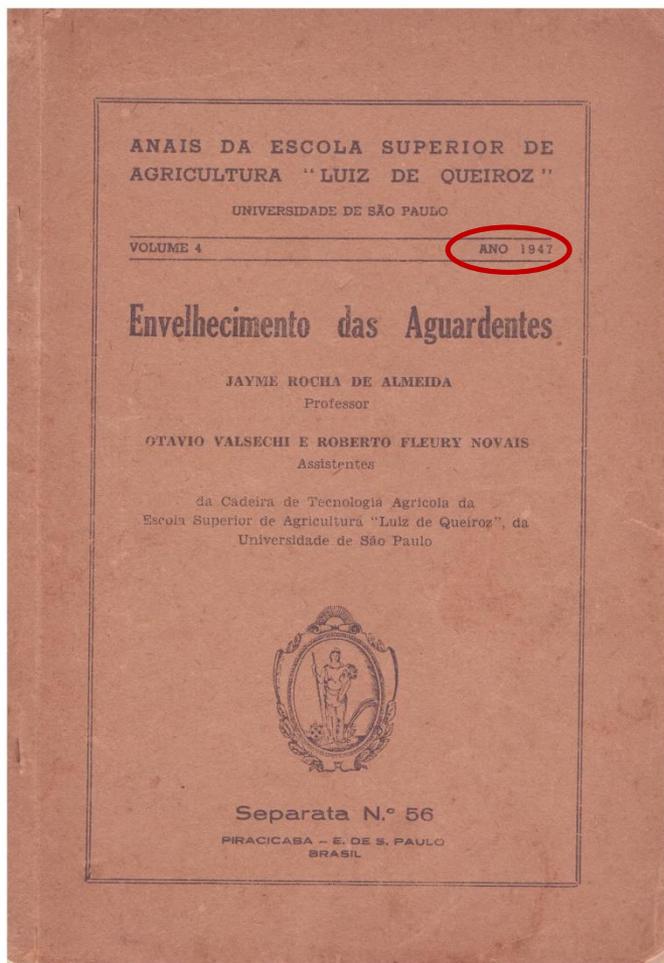


Prof. José Paulo Stupiello

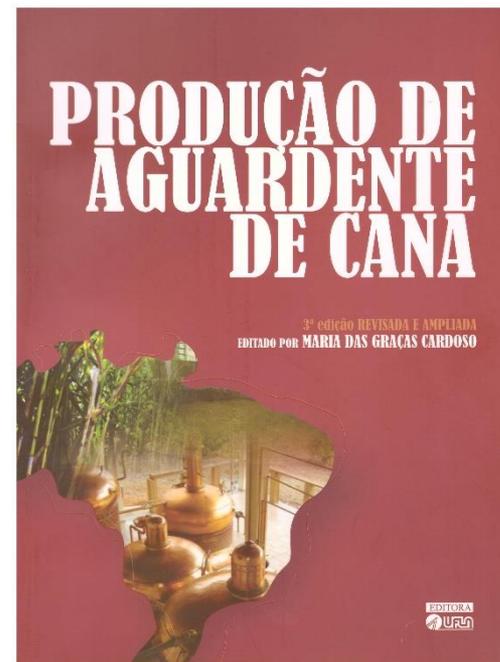
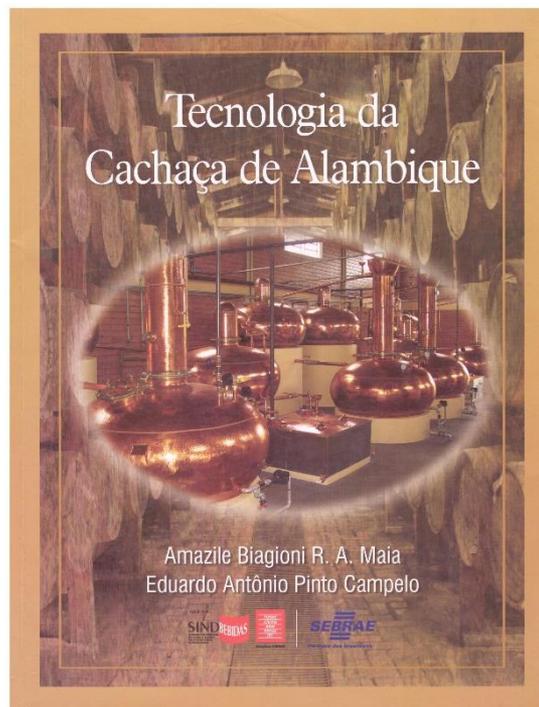
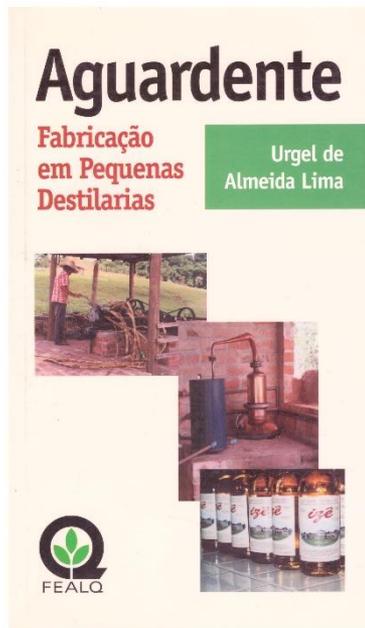


Prof. Fernando Valadares Novaes

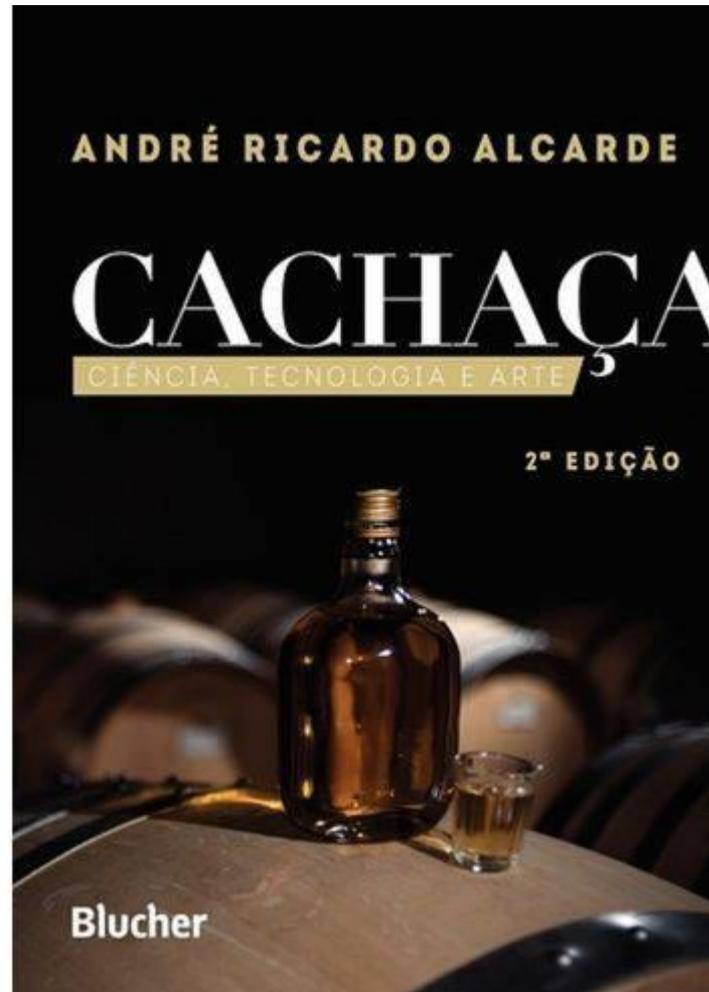
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Vídeo: Destilaria da ESALQ

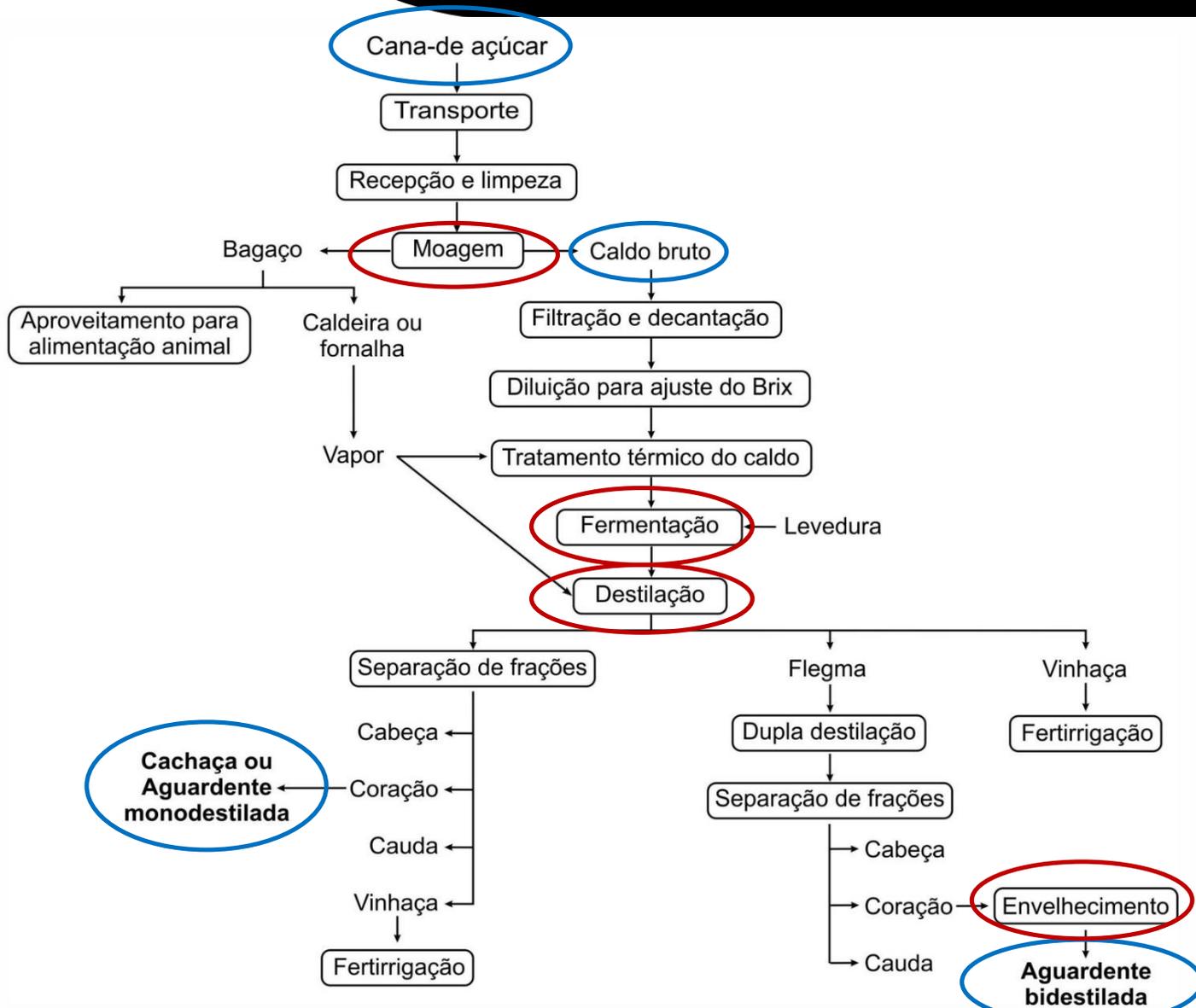
https://www.youtube.com/watch?v=r_TKLeMD64Q

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Processo de produção da cachaca

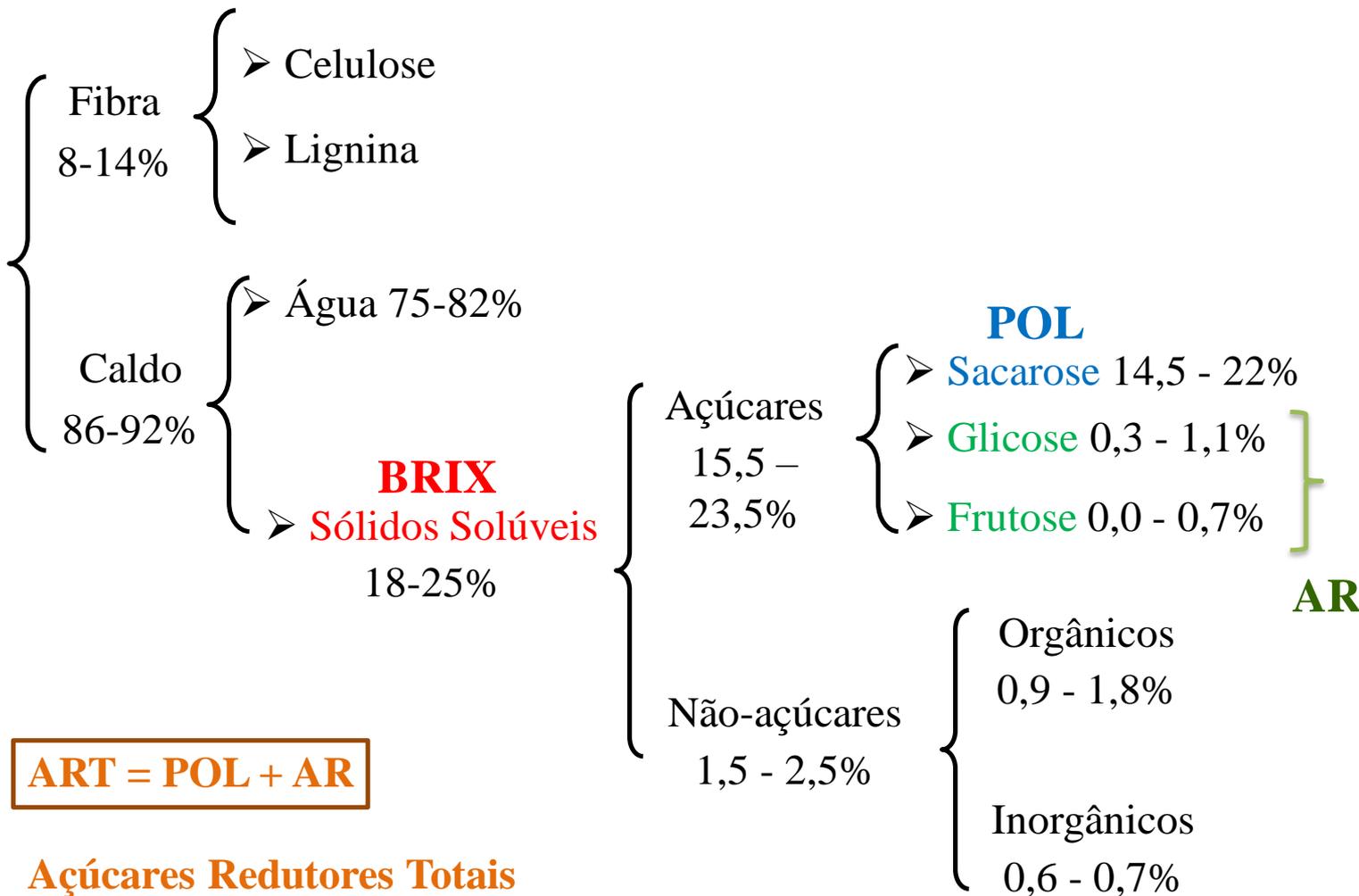
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Composição tecnológica da cana



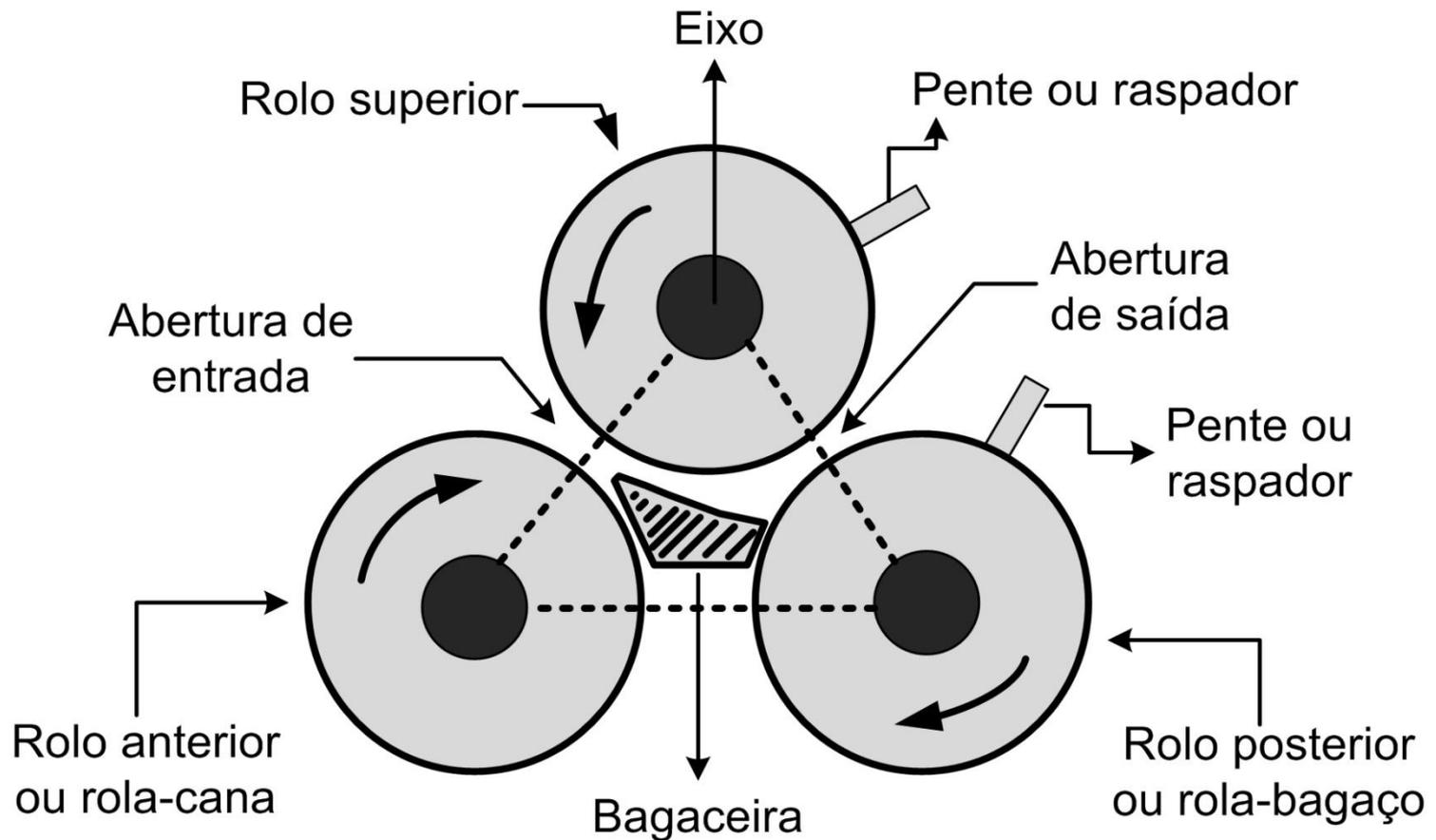
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Preparo do caldo (moenda, decantador 1, dorna diluidora de caldo, trocador de calor e decantador 2)



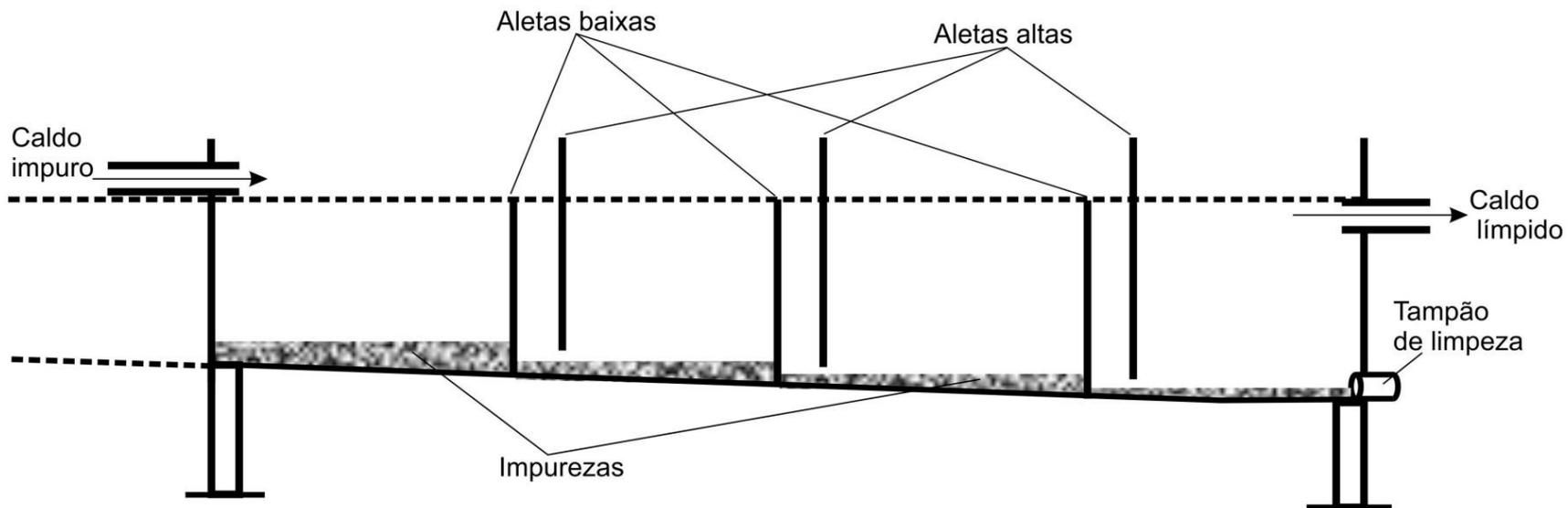
Extração do Caldo





Limpeza do Caldo: terra e bagacilho

Peneiras e decantador de impurezas sólidas em suspensão



Cachaça: ciência, tecnologia e arte

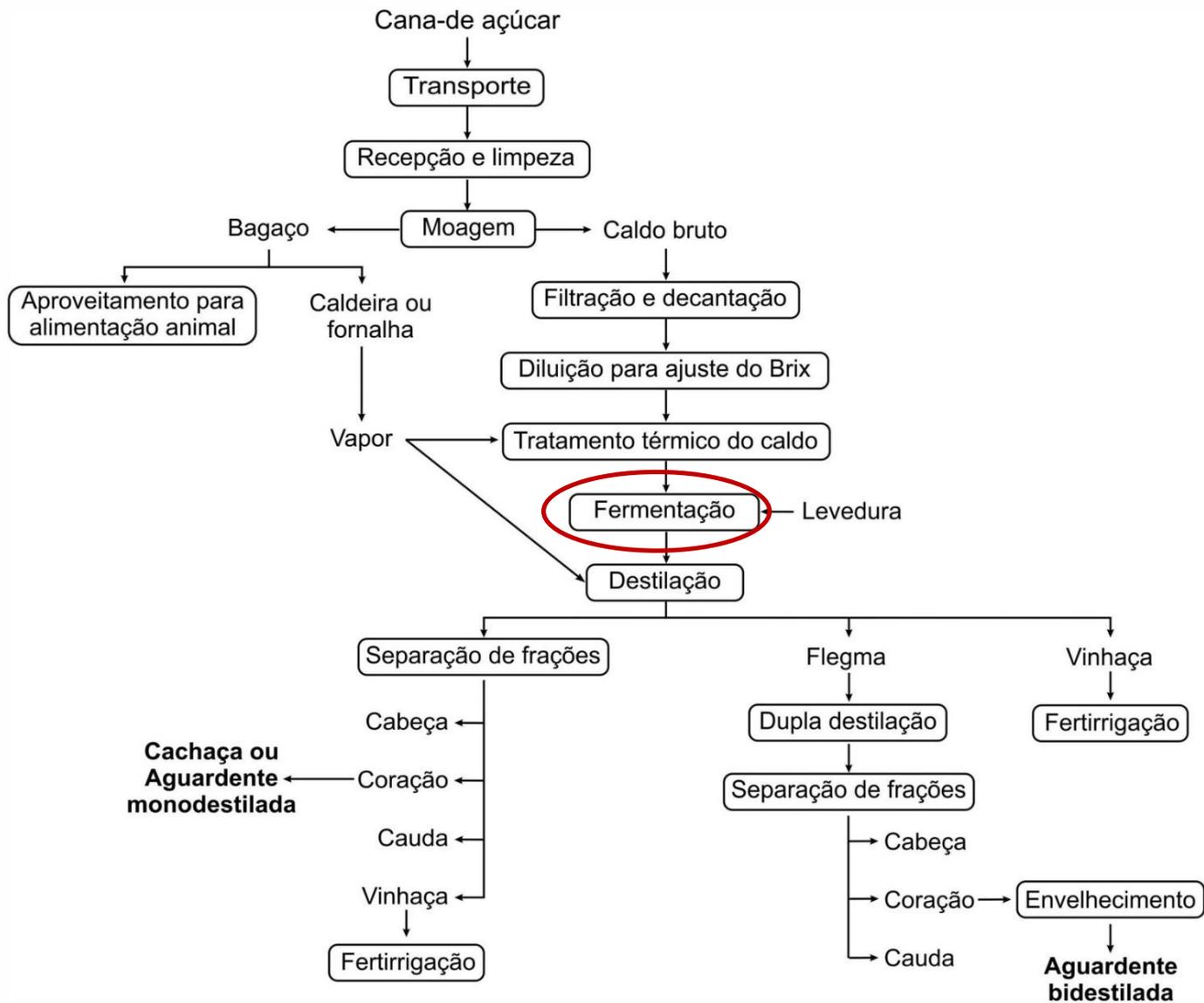


Diluição do Caldo

Caldo acima de 18°Brix → diluição com água declorada

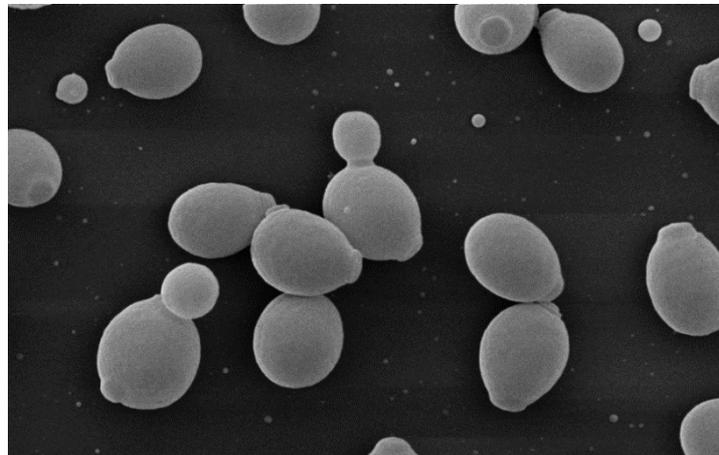
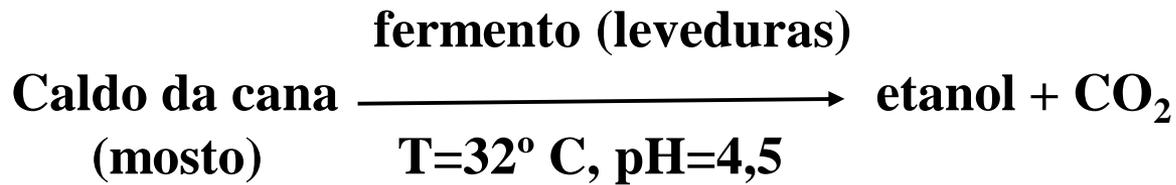


Cachaça: ciência, tecnologia e arte



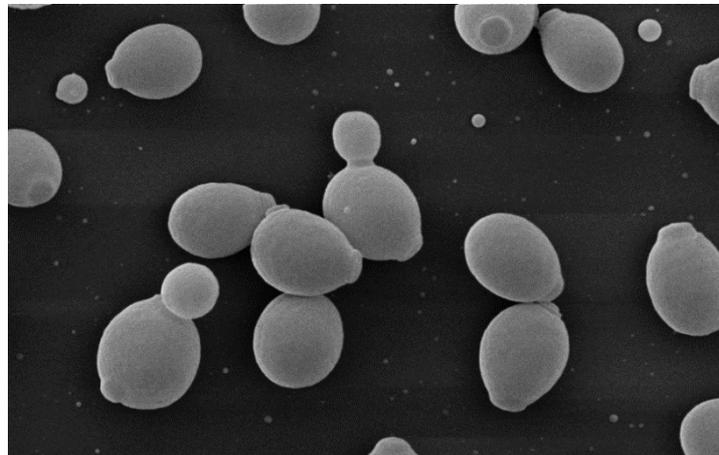
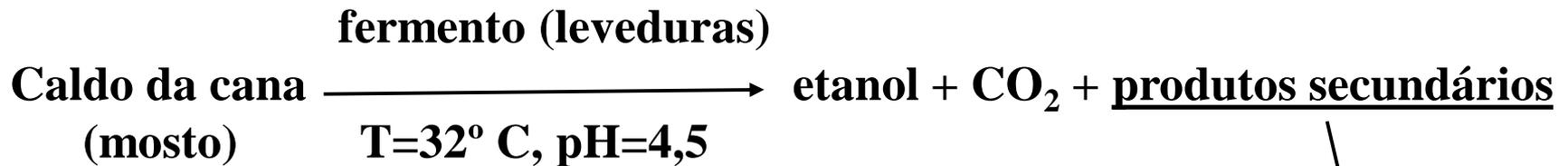


Fermentação alcoólica





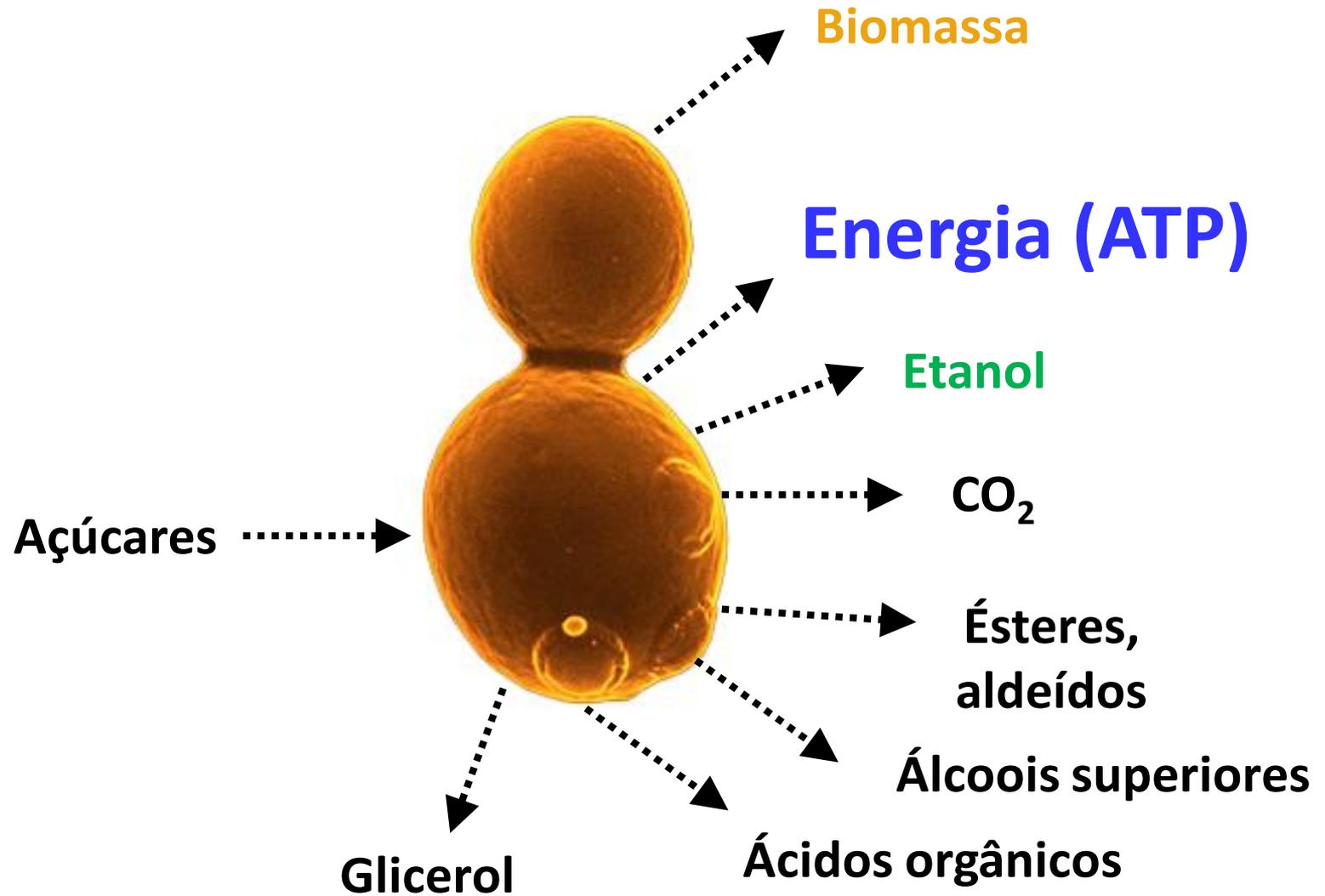
Fermentação alcoólica



↓
Aroma e sabor

Produção de etanol e definição do perfil sensorial da cachaça

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Fermentação:

- Produção de etanol e formação do perfil sensorial da cachaça
- Temperatura (30°C), pH (4,5-6,5), oxigênio (ácidos graxos e esteróis para membranas)
- Macro e micronutrientes (N, P, K, Mg, Ca, Cu, Fe, Mn, Co, Mo, Ni, Se, Zn)

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Leveduras:

Selvagens

X

Selecionadas



CanaMax
Levedura específica para cachaça



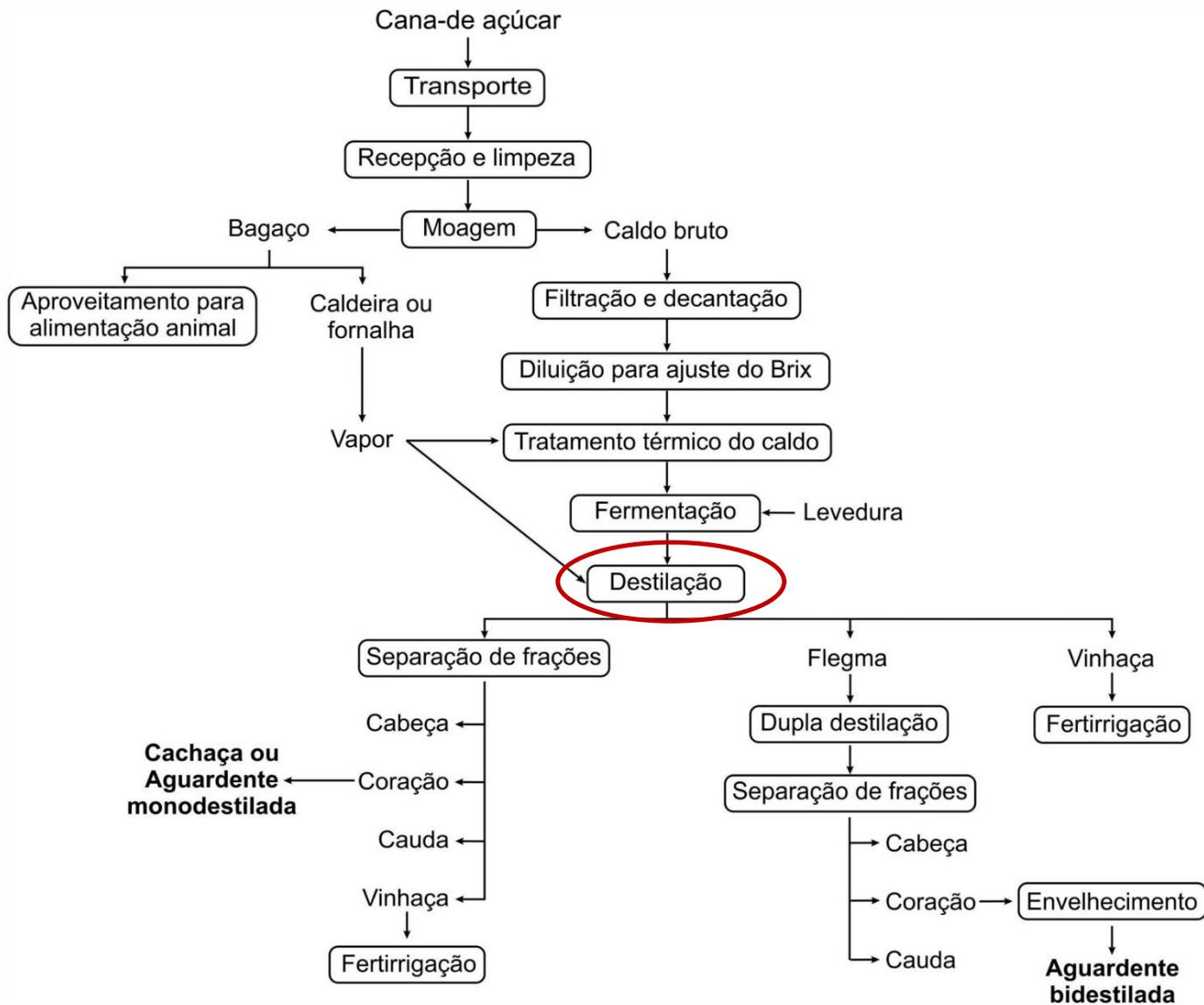
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Sistema de alimentação das dornas e processo
de fermentação:
Batelada alimentada
com reciclo de fermento por decantação

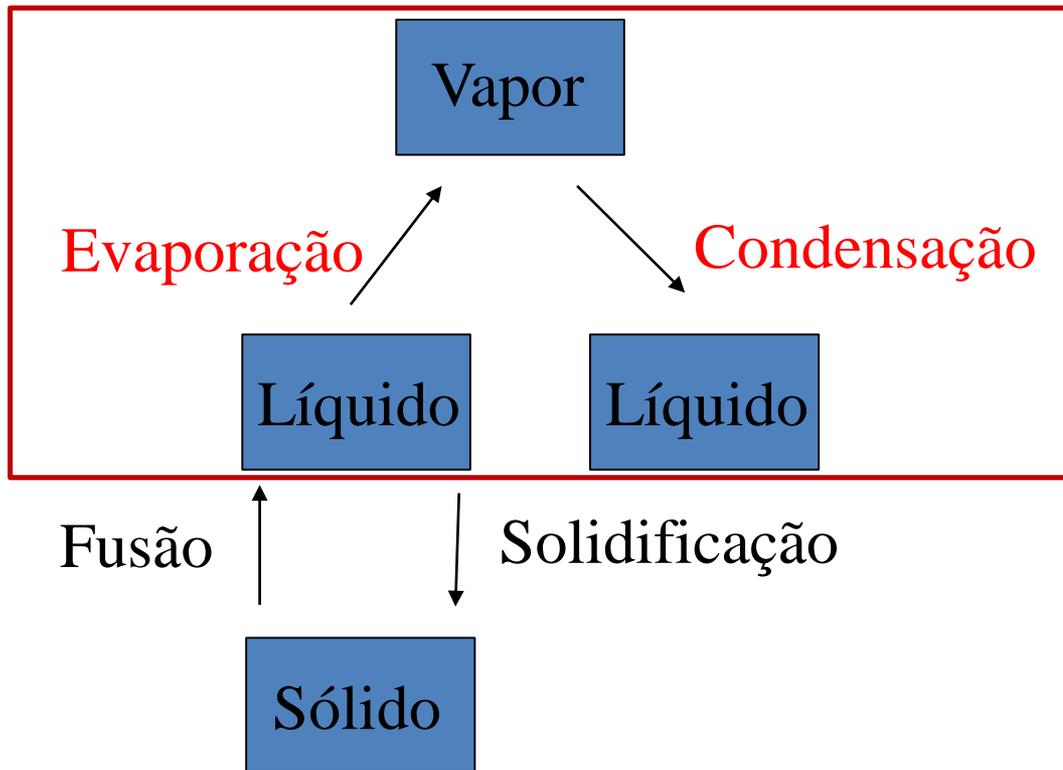


Cachaça: ciência, tecnologia e arte



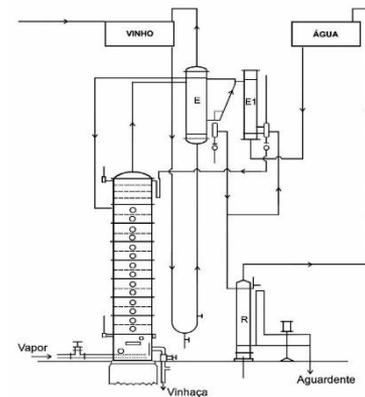
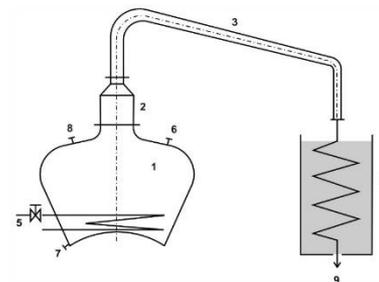
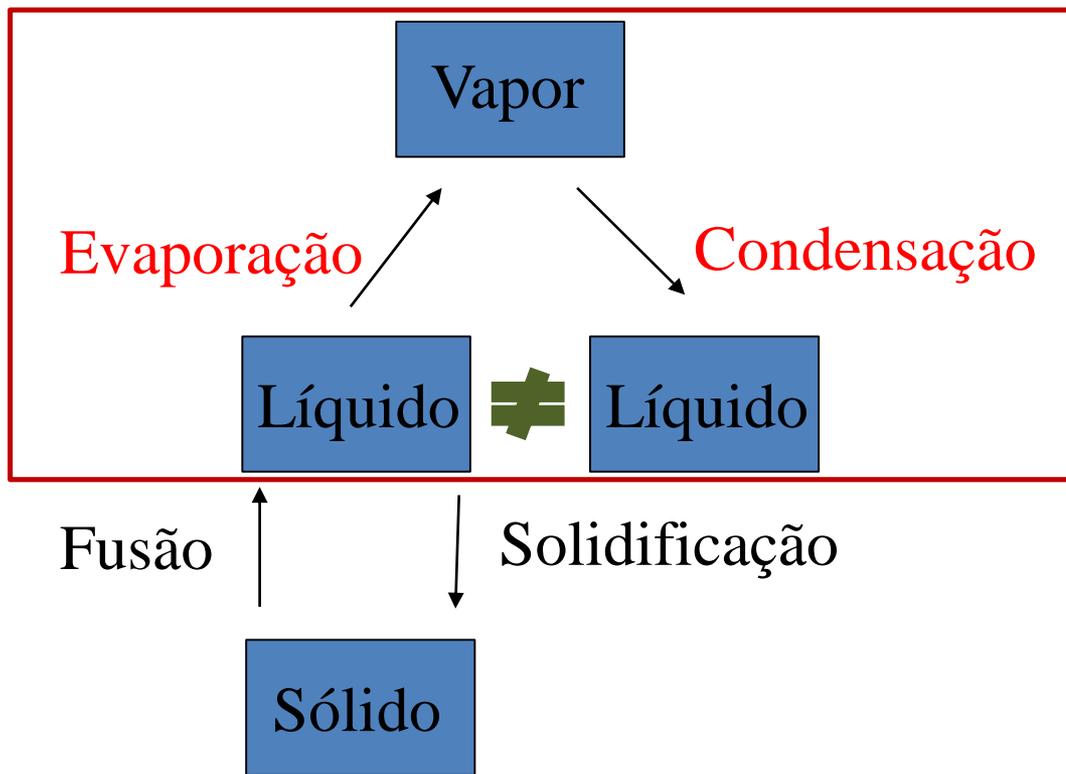


DESTILAÇÃO



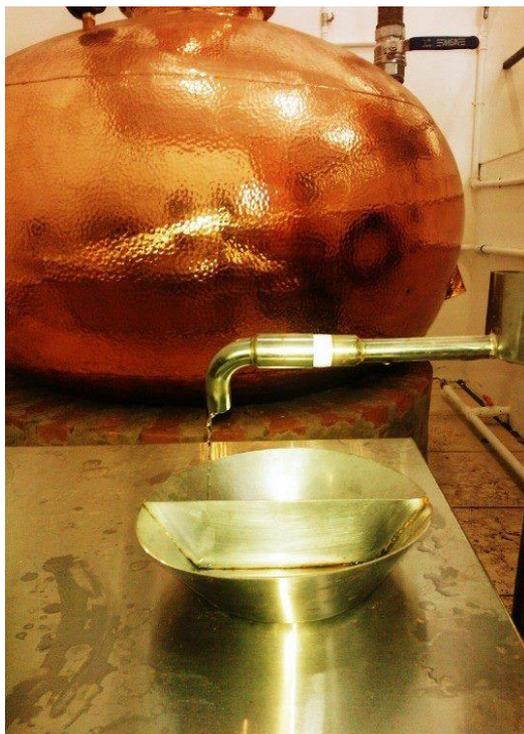


DESTILAÇÃO





DESTILAÇÃO



AGUARDENTE DE QUALIDADE

Monodestilação,
Dupla destilação (Bidestilação),
Destilação contínua

APARELHO DE DESTILAÇÃO

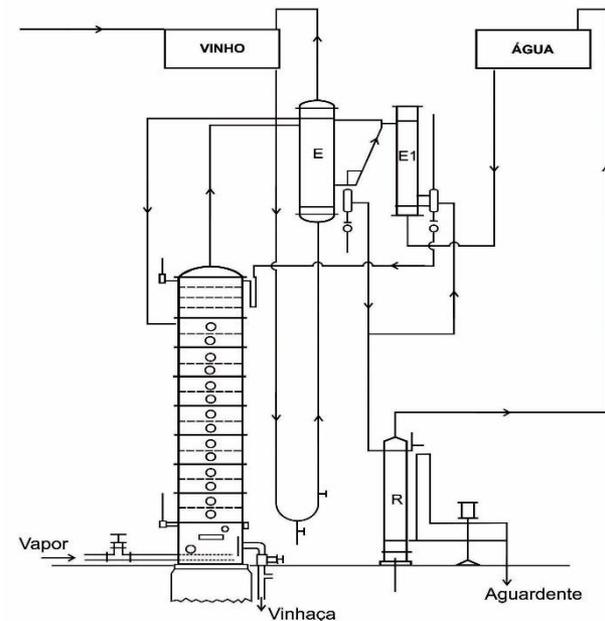
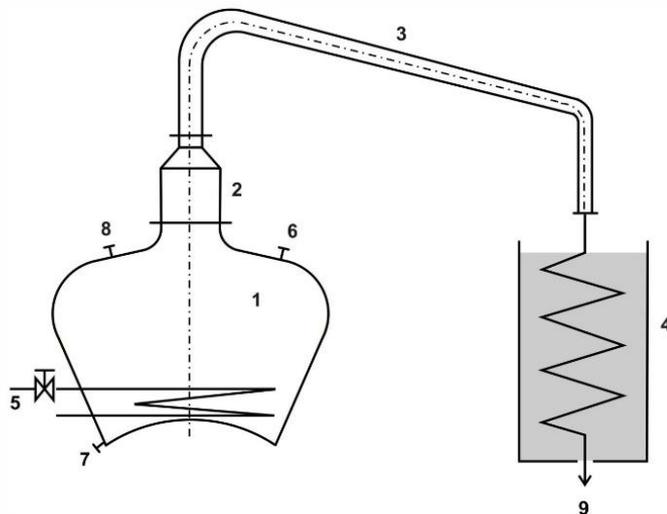
Modulação da composição química

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



OBJETIVOS DA DESTILAÇÃO:

- Aumentar o teor alcoólico: f (PE)
- Selecionar (separar) compostos: f (PE e Solubilidade)



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Ponto de ebulição, no estado puro, dos principais componentes voláteis do vinho de caldo de cana-de-açúcar

Composto	Ponto de ebulição (°C)
----------	------------------------

Etanol 78

Água 100

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Ponto de ebulição, no estado puro, dos principais componentes voláteis do vinho de caldo de cana-de-açúcar

Composto	Ponto de ebulição (°C)
Aldeído acético	20
Metanol	65
Acetato de etila	77
Etanol	78
n-Propanol	97
Água	100
Isobutanol	108
5-HMF	115
Ácido acético	118
Álcool isoamílico	130
Furfural	162
Carbamato de etila	183



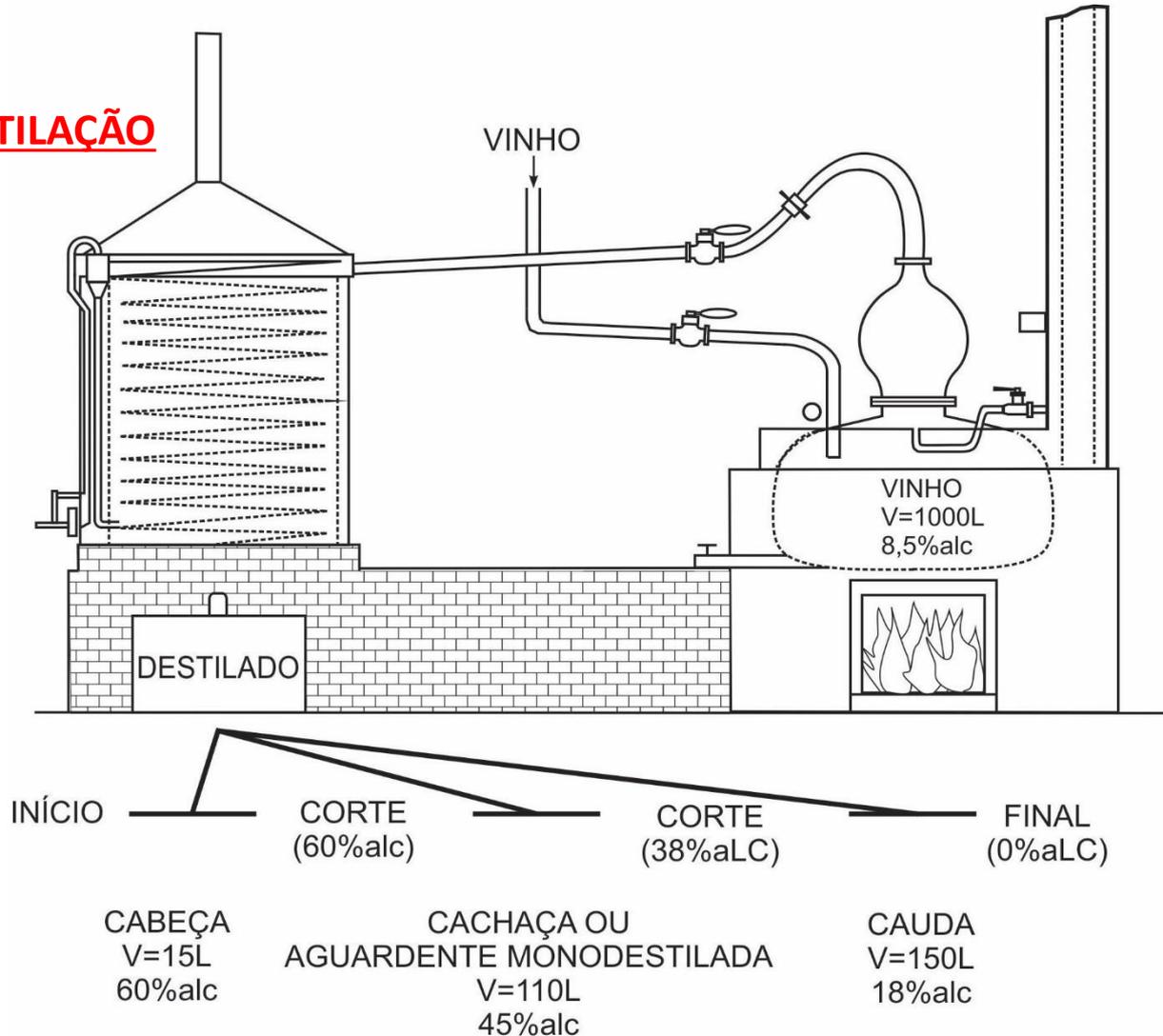
SEPARAÇÃO DE FRAÇÕES

- ACETALDEÍDO
 - ACETATO DE ETILA
 - METANOL
 - BUTANOL
 - PROPANOL
 - ALCOOL ISOAMÍLICO
 - ÁCIDO ACÉTICO
 - FURFURAL
- Fração "cabeça"*
- Juntamente com o etanol por solubilidade (Fração "coração")*
- Fração "cauda"*

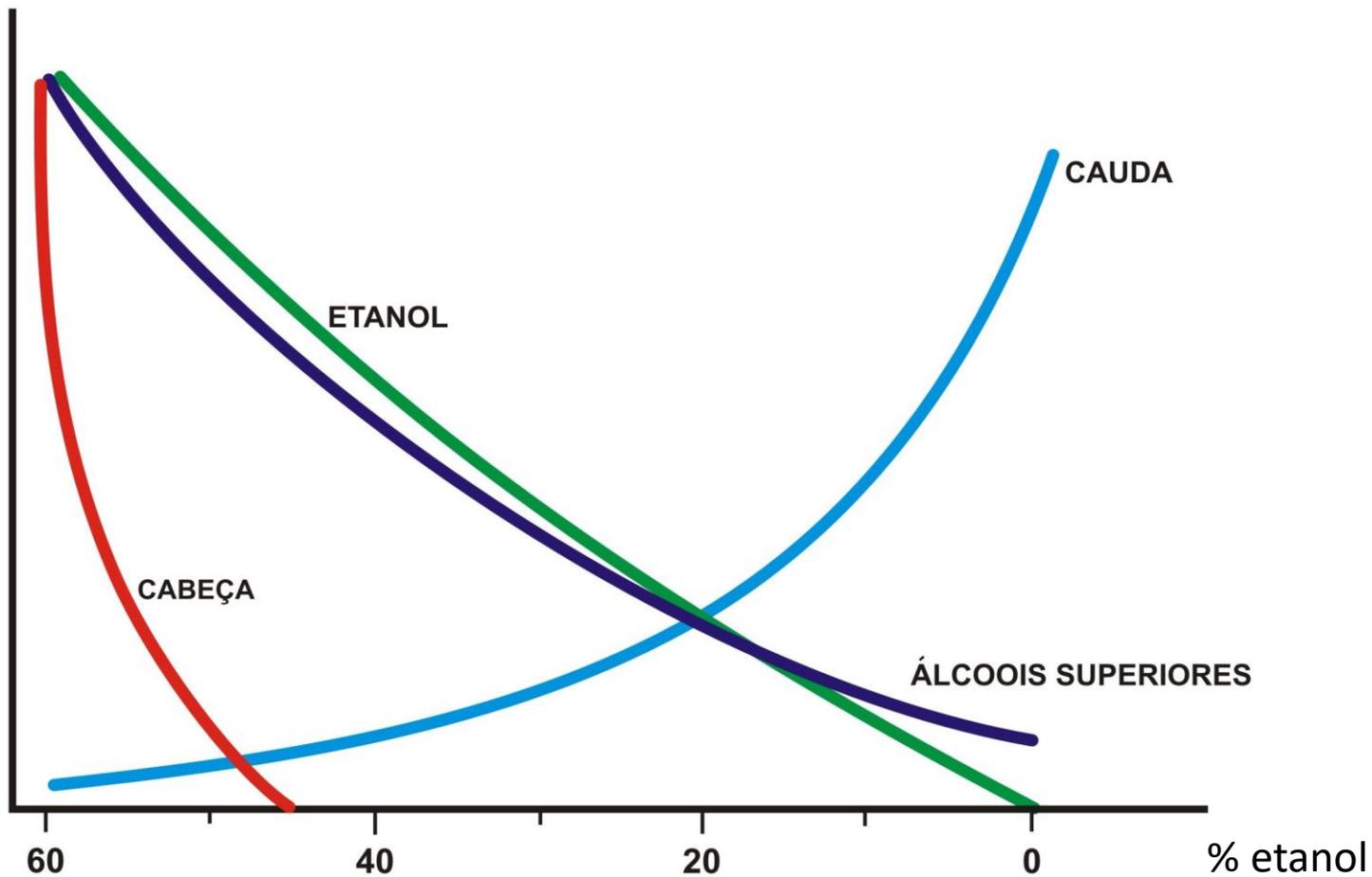
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



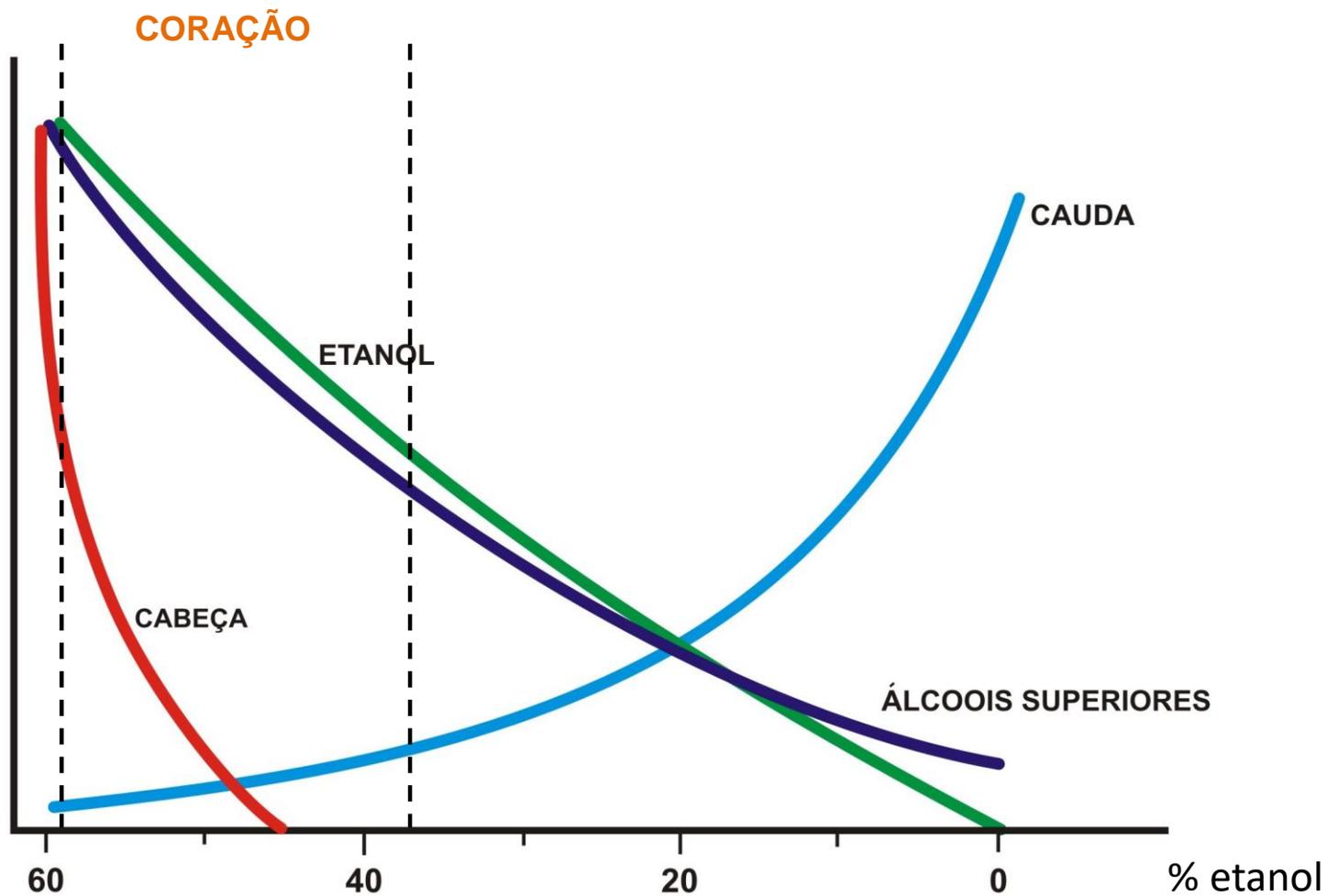
MONO-DESTILAÇÃO



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



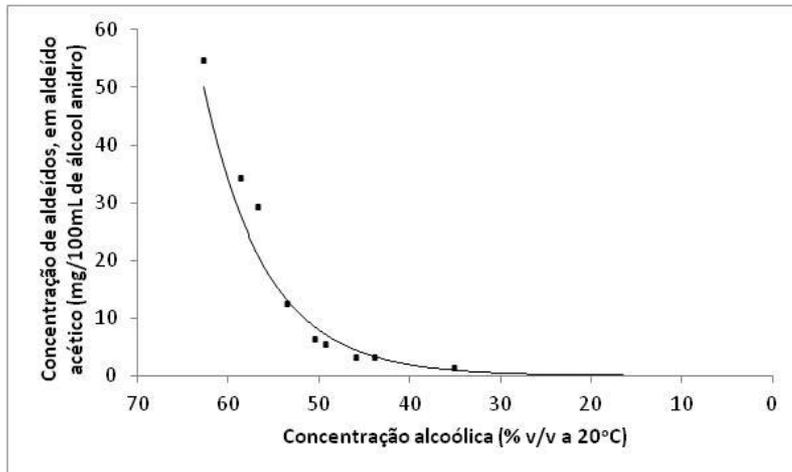
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



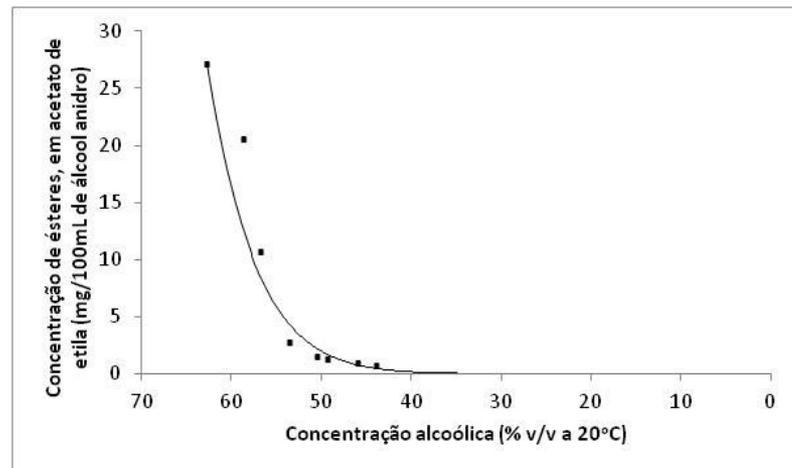
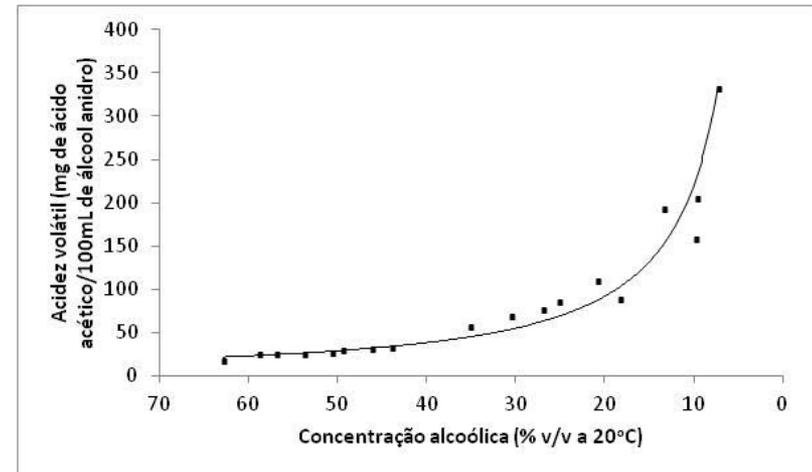
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



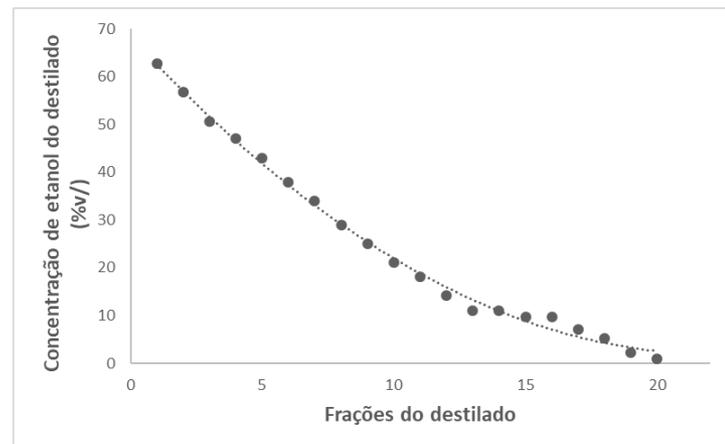
Produtos de “cabeça”



Produto de “cauda”

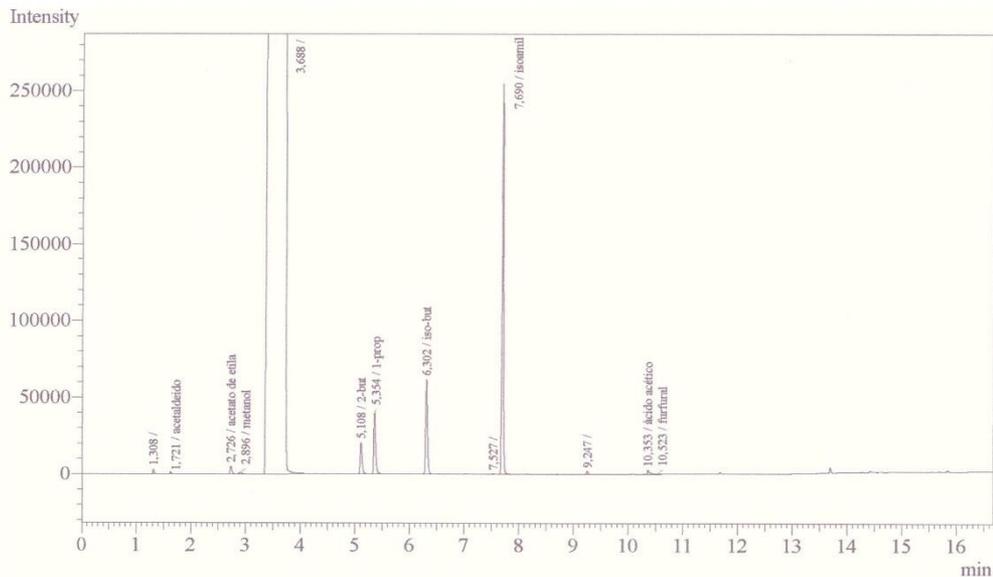


Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Álcoois superiores (afinidade com o etanol !)

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



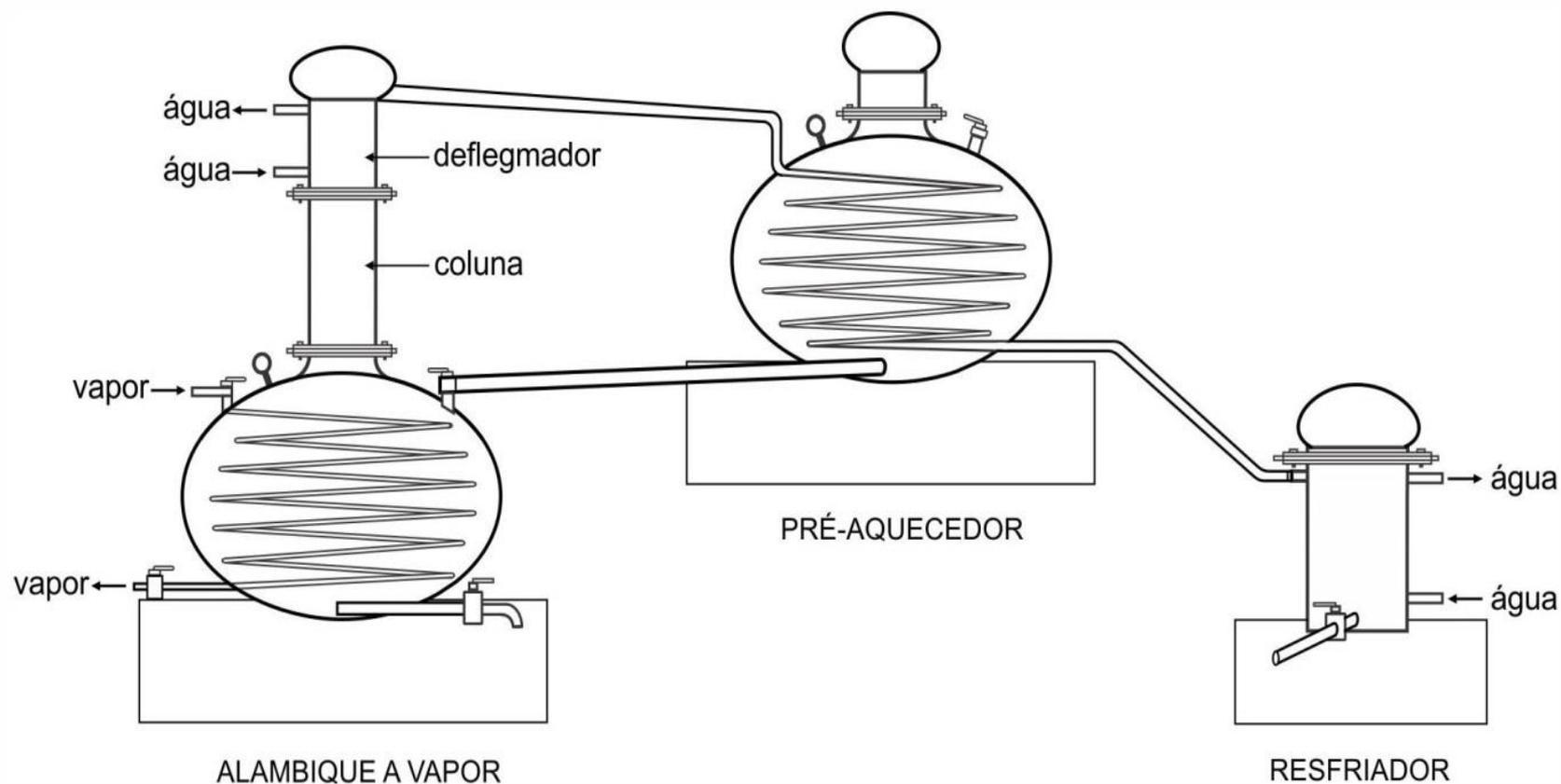
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	1,308	4634	3055	0,000				
2	1,721	2225	2	0,958	mg		1	acetaldeído
3	2,726	11951	5127	1,538	mg		2	acetato de etila
4	2,896	3898	1024	1,555	mg	V	3	metanol
5	3,688	108991128	9397247	0,000				
6	5,108	50746	20581	12,040	mg		4	2-but
7	5,354	95596	39613	20,970	mg	V	5	1-prop
8	6,302	146539	61478	13,655	mg		6	iso-but
9	7,527	1153	449	0,000				
10	7,690	465321	253277	79,894	mg	SV	8	isoamil
11	9,247	4719	2227	0,000				
12	10,353	8742	2799	8,803	mg	V	9	ácido acético
13	10,523	1543	335	0,179	mg	V	10	furfural
Total		109788195	9787214					

Cromatografia GC-FID e GC-MS





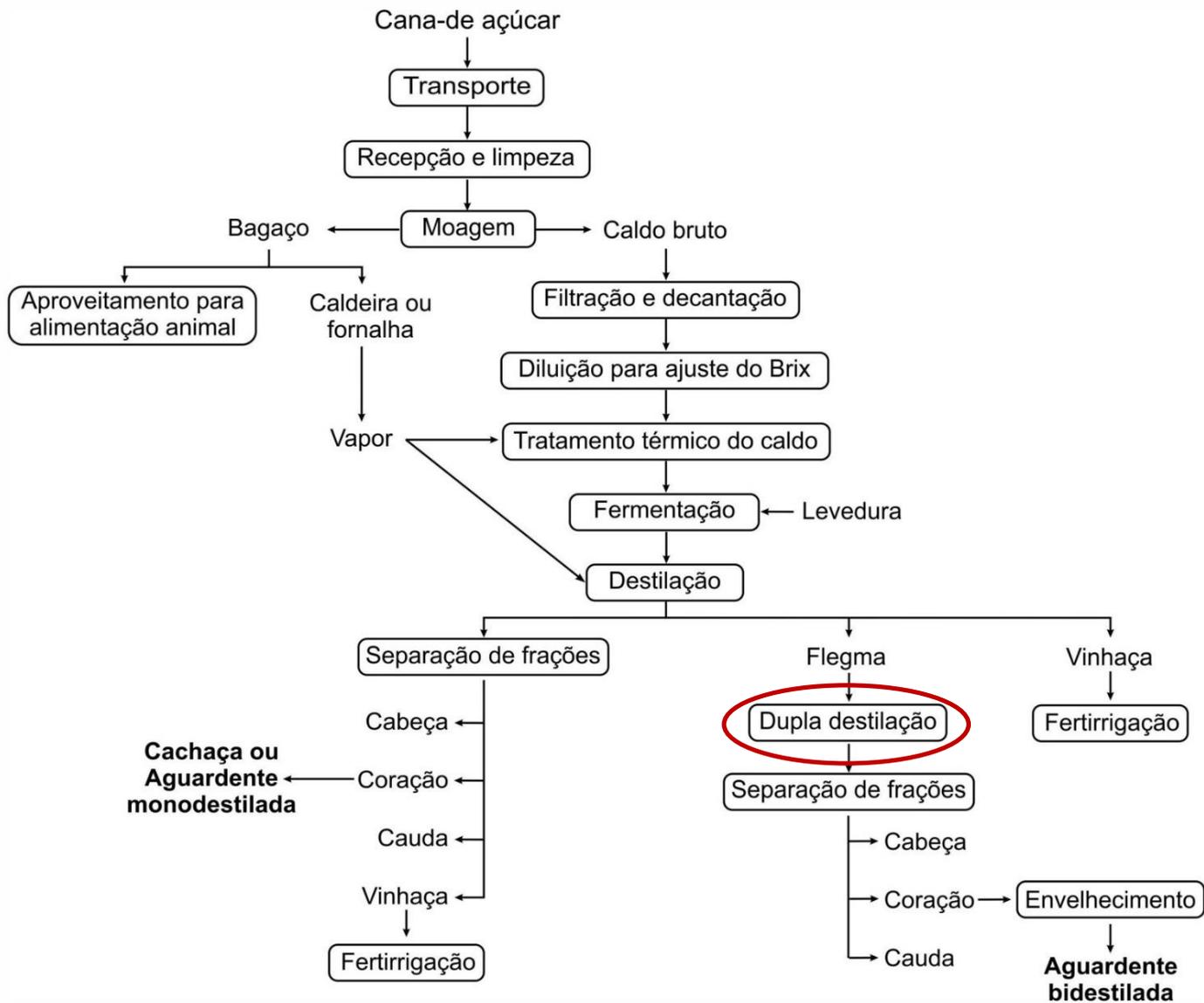
Alambique dois corpos



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



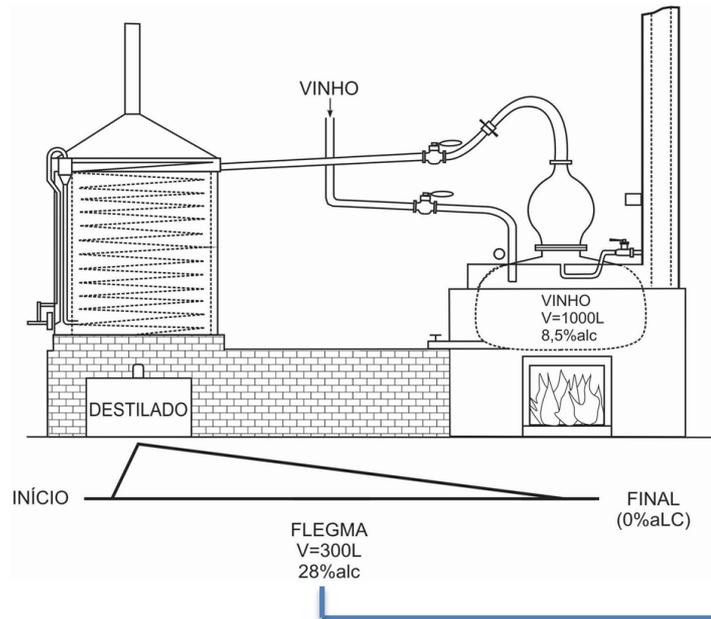
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



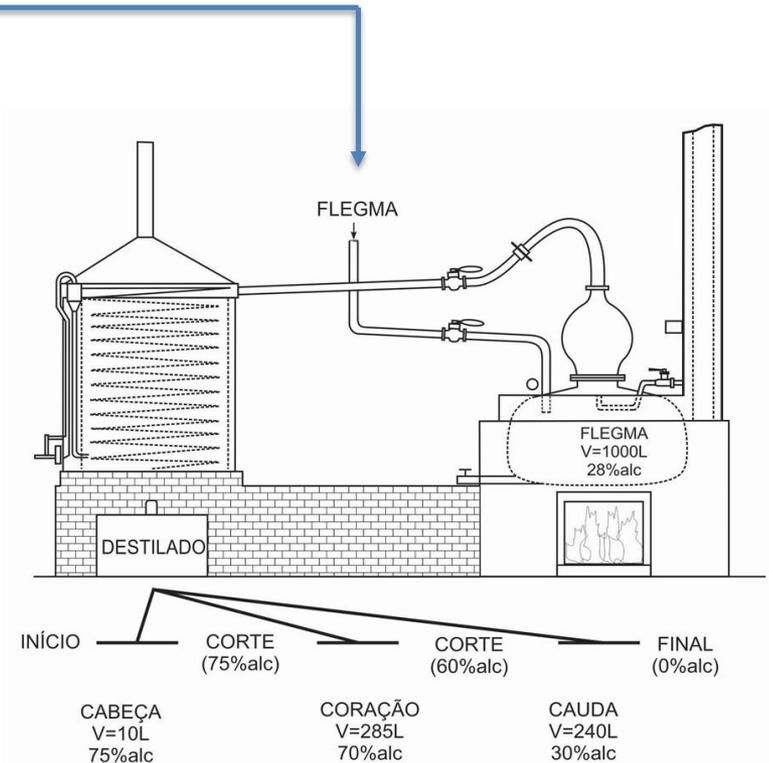
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



DUPLA DESTILAÇÃO



Primeira destilação



Segunda destilação

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



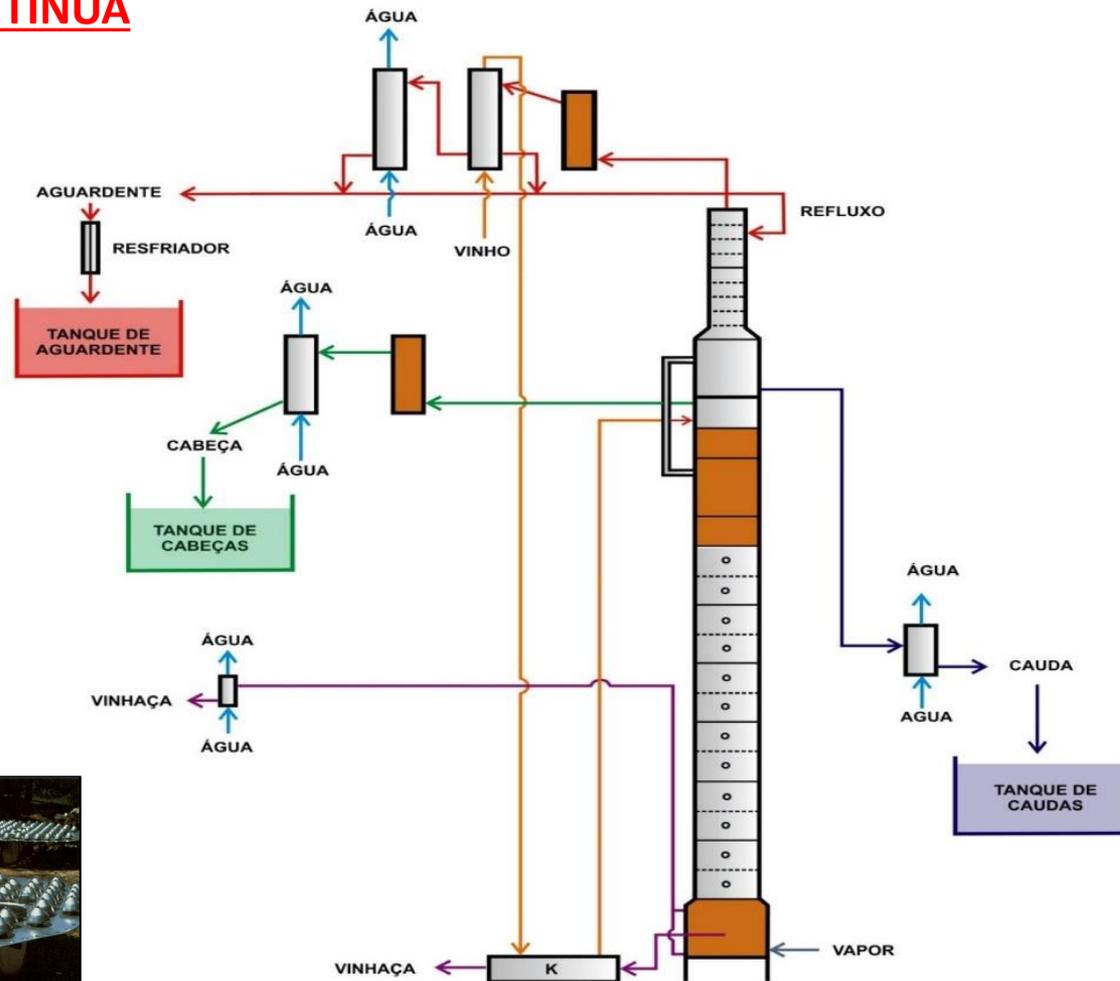
Composição química de destilado alcoólico produzido por processos de mono e dupla destilação

mg/100mL AA	Destilação simples	Dupla destilação
Etanol (% v/v)	42	69
Aldeídos	18	11
Ésteres	49	14
Ácidos orgânicos	48	11
Álcoois Superiores	325	216
Congêneres	440	252
Carbamato de etila (ppb)	170	5

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



DESTILAÇÃO CONTÍNUA



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Bandejas sobrepostas, com descida de vinho em contra-corrente com a subida de vapores alcoólicos (aquecidos), os quais interagem entre si nas bandejas.

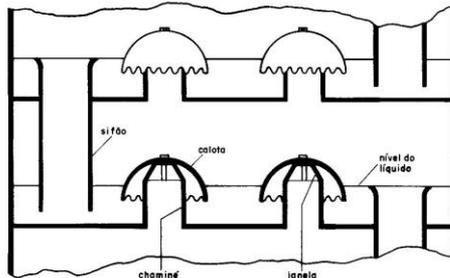
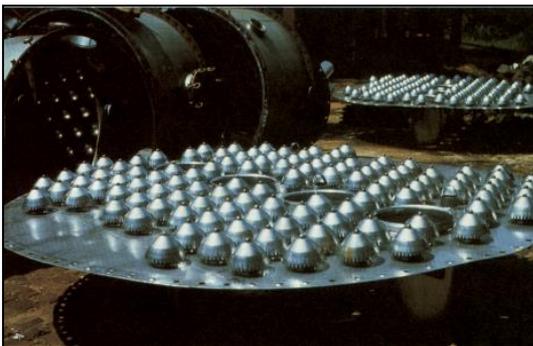
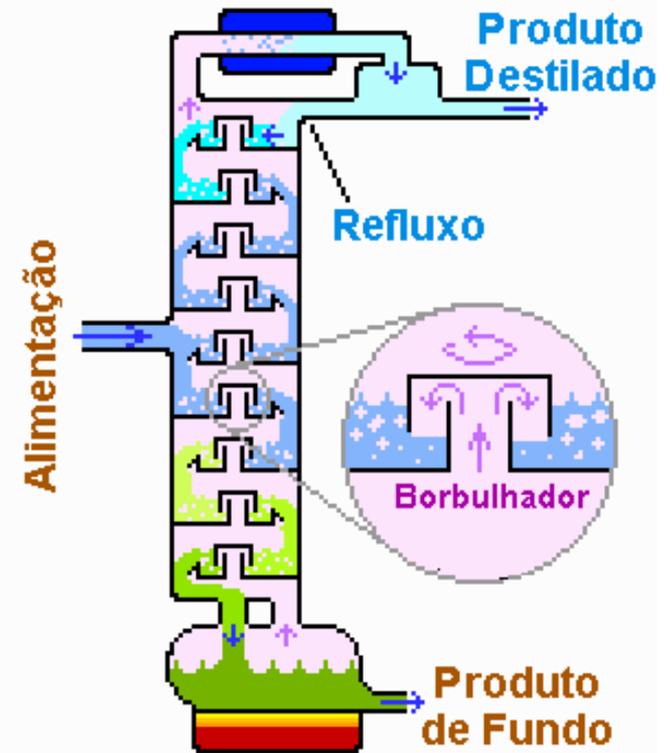


Figura — Esquema de uma bandeja de destilação calotada



Destilação Contínua



<https://www.youtube.com/watch?v=BaBMXgVBQKk>

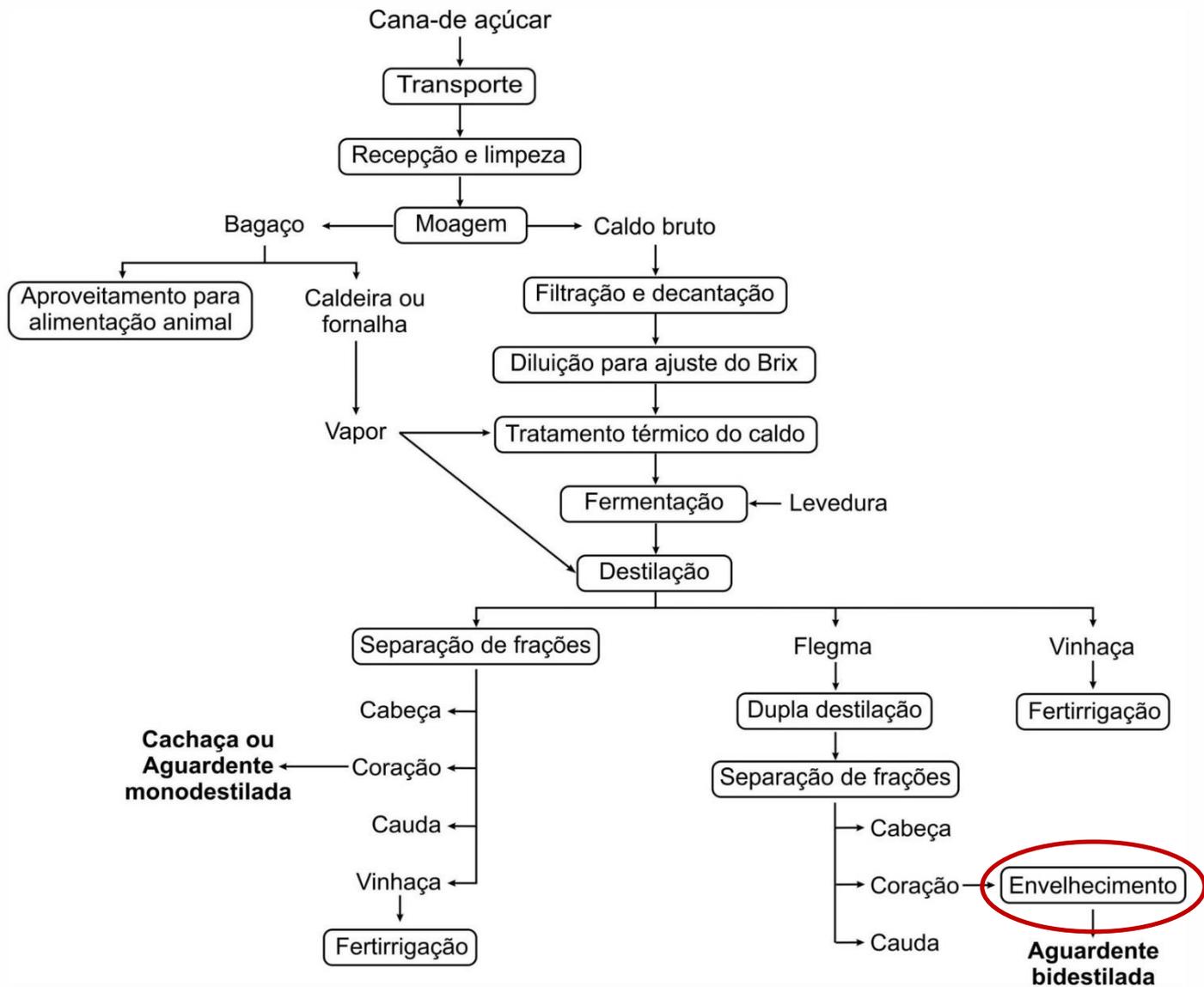
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Composição química de aguardentes produzidas mediante destilação em alambique simples e em coluna contínua

mg/100mL AA	Alambique simples	Coluna
Etanol (% v/v)	42	62
Aldeídos	18	11
Ésteres	49	21
Ácidos orgânicos	48	29
Álcoois Superiores	325	212
Congêneres	440	274

Cachaça: ciência, tecnologia e arte





Envelhecimento

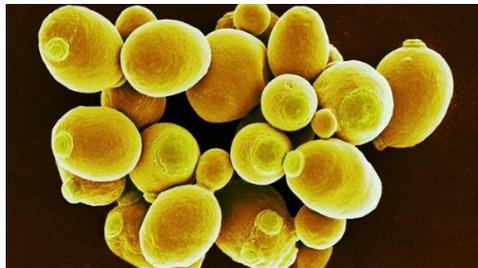
Novos aromas e sabores, advindos da interação da bebida com a madeira (marcadores de envelhecimento)



De onde vêm as substâncias aromáticas da cachaça?



Cana-de-açúcar



Fermentação



Envelhecimento em barris de madeira

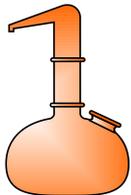
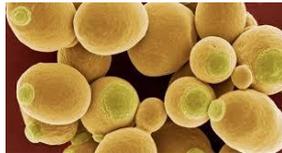
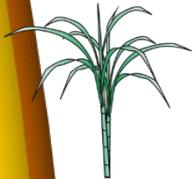


Destilação

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



**Cana-de-açúcar,
Fermentação
e Destilação**



**Envelhecimento:
Mais de 70% do total
de compostos**



**CARACTERÍSTICAS
AMADEIRADAS**



QUALIDADE SENSORIAL



Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Qualidade da aguardente nacional (até 2012)

Ano	% em não conformidade com a legislação
1992 ¹	66%
1995 ²	65%
2003 ³	48%
2012 ⁴	51%

¹STUPIELLO, J. P. Destilação do vinho. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. (Ed.) Aguardente de cana: produção e qualidade. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p. 67-78.

²VARGAS, E. A.; GLÓRIA, M. B. Qualidade da cachaça de cana (*Saccharum officinarum*, L.) produzida, comercializada e/ou engarrafada no Estado de Minas Gerais. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 15, n. 1, p. 43-46, 1995.

³MIRANDA, M.B.; MARTINS, N.G.S.; BELLUCO, A.E.S.; HORII, J.; ALCARDE, A.R. Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.27, n.4, p.897-901, 2007.

⁴BORTOLETTO, A.M.; ALCARDE, A.R. Assessment of chemical quality of Brazilian sugar cane spirits and cachaças. Food Control, v. 54, p. 1-6, 2015.

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Qualidade da aguardente nacional (a partir de 2012)

Ano	% em não conformidade com a legislação
2014	29%
2015	21%
2017 ¹	13%
2018 ¹	7%
2019 ²	4%
2021-22 ¹	2 %

¹ Dados do nosso Laboratório. ² Barbosa, R.B. et al. Quantificação de carbamato de etila em cachaças. CICA VI, 2019.



Article

Assessment of Ethyl Carbamate Contamination in Cachaça (Brazilian Sugar Cane Spirit)

Aline M. Bortoletto and André R. Alcarde *

Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias 11, CP 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brazil; aline.bortoletto@usp.br

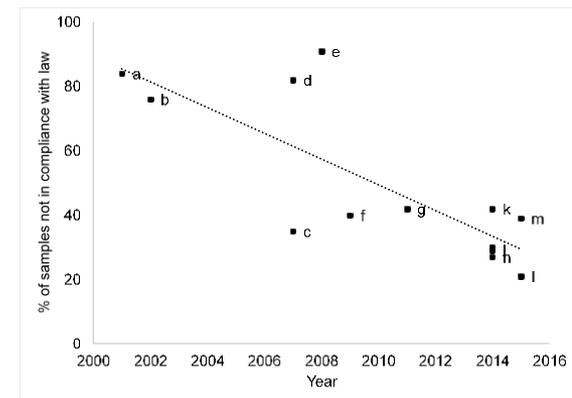


Figure 1. Evolution of the percentage of cachaças not in compliance with Brazilian law for ethyl carbamate over the years. a: [37]; b: [38]; c: [8]; d: [27]; e: [28]; f: [29]; g: [30]; h: [22]; i: present study (2014); j: [41]; k: [39]; l: present study (2015); m: [40].

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaças premiadas



R\$ 237,00



R\$ 83,00



R\$ 99,00

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



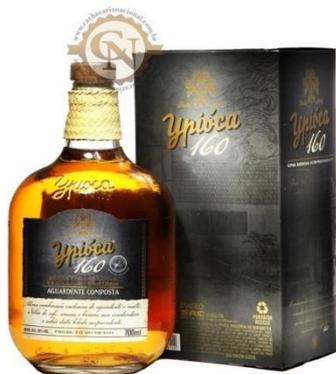
Cachaças premiadas



R\$ 112,00



R\$ 289,00



R\$ 201,00



R\$ 699,00

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaças premiadas



R\$ 297,00

R\$ 129,00



R\$ 194,00



R\$ 273,00



R\$ 165,00

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



Cachaças premiadas



R\$ 990,00



R\$ 160,00

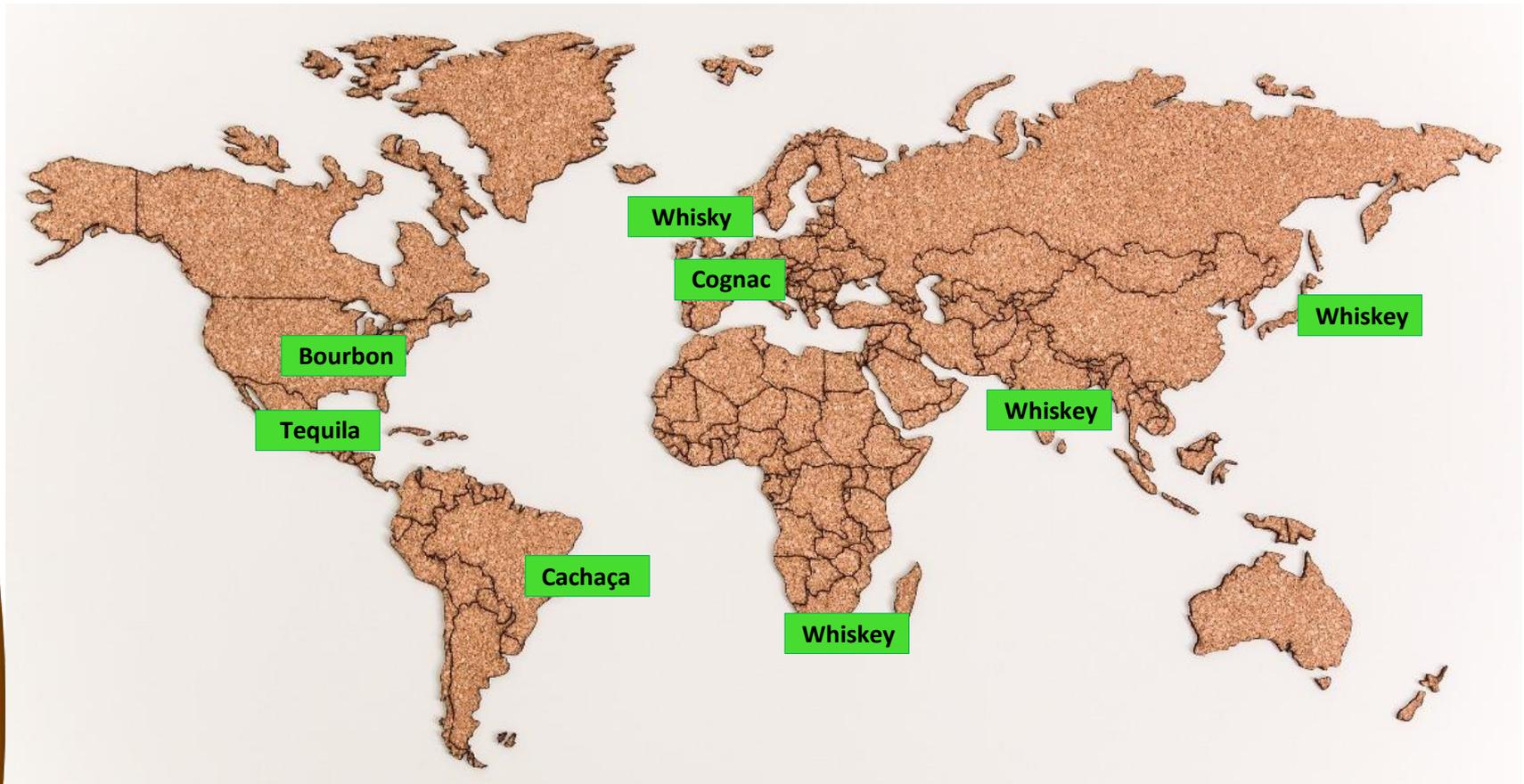


R\$ 249,00



R\$ 199,00

Cachaça: ciência, tecnologia e arte



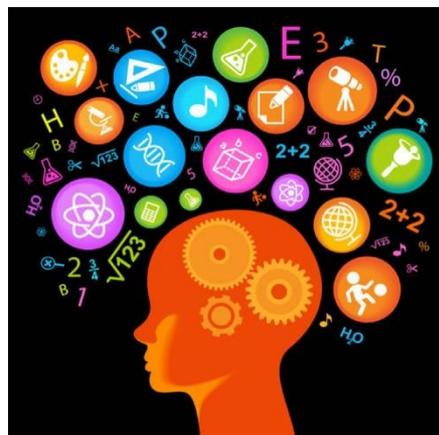
Cachaça: ciência, tecnologia e arte



“Respeito ao passado,
com olhos para o futuro”

TRADIÇÃO

INOVAÇÃO





A vodka é considerada uma bebida destilado-retificada. Diante desta afirmação, assinale a alternativa correta:

* 1 ponto

- É uma bebida com concentração de congêneres muito baixa.
- É uma bebida com baixa concentração de álcool.
- É uma bebida flavorizada com botânicos.

Complete a frase: Durante o processo de destilação os álcoois superiores são 'arrastados' ...

* 1 ponto

- Junto com a água, por conta de afinidade.
- Junto com o etanol, durante todo o processo.
- Junto com os compostos de cauda, graças a solubilidade em ácidos orgânicos.

Devido ao ponto azeotrópico, qual o percentual alcoólico máximo que uma mistura hidroalcoólica pode atingir?

* 1 ponto

- 96,5%
- 96,0%
- 96,2%



De maneira geral, no que consiste o processo de retificação de uma bebida destilada?

* 1 ponto

- Consiste na adição de água e outros compostos na bebida.
- Consiste em adicionar álcool na bebida antes do seu envase.
- Consiste em destilar o álcool até que alcance o resultado esperado, atingindo um maior nível de pureza.

Explique sobre o coeficiente de purificação (K') do álcool isoamílico. *

1 ponto

Sua resposta
