UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

Curso de Pós-Graduação em

Tecnologia de Alimentos

Tese para obtenção do grau de MESTRE

ENGº ELI JOAQUIN ESPINOZA ATENCIA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA LIBERAÇÃO DO GÁS CARBÔNICO DO CAFÉ TORRADO E MOÍDO

06/85

Orientador:

Prof. Dr. Antônio de Melo Serrano

Campinas-1985

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Eli Joaquim Espinoza Atencia e aprovada pela Comissão Julgadora em 10.04.85
Campinas, 10 de abril de 1985

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Presidente da Banca

À minha esposa Deysi

e as minhas filhas Ana, Silvia e ao próximo a nascer.

Pela compreensão carinho e encentivo.

e

Com todo carinho e amor:
A minha mãe, a memória de
meu pai e a todos os meus
irmãos.

ÍNDICE

Índice dos Quadros iv

Índice das Figuras v

Índice dos Anexos ix

Agradecimentos xii

Resumo xiv

Summary xvi

1. INTRODUÇÃO 01

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 03

2.1. Introdução 03

2.2. Espécies de café 04

2.3. Estrutura do café maduro ("cereja") 04

2.3.1. Estrutura dassementes 06

2.4. Secagem do café verde 08

2.4.1. Tipos de secagem 08

2.4.1.1. Secagem natural 08

2.4.1.2. Secagem artificial 09

2.5. Armazenamento 09

2.5.1. Café em coco 09

2.5.2. Café beneficiado 09

2.6. Café torrado e moído 10

2.6.1. Recepção da matéria-prima 10

2.6.1.1. Características físicas e químicas do café crú 11

2.6.2. Torração 15

2.6.2.1. Descrição das fases do processo de torração 15

2.6.2.2. Modificações físicas durante a torração 16
2.6.2.3. Modificações químicas durante a torração 21
2.6.2.4. Mudanças durante o armazenamento de café torrado em grãos 24
2.6.3. Moagem 27
2.6.3.1. Tipos de moinhos 27
2.6.3.2. Granulometria 28
2.6.3.3. Avaliação da granulometria do café moído 28
2.6.3.4. Liberação do gás carbônico 33
2.6.4. Repouso do café torrado e moído 34
2.6.5. Problemas relacionados ao acondicionamento do café torrado e moído em embalagens 34
2.6.5.1. Considerações sobre o acondicionamento do café torrado e torrado e moído 35
2.6.5.2. Características da embalagem para café torrado e torrado e moído ... 38
2.7. Estudos da liberação de CO_2 em café torrado e moído. 40

3. MATERIAL E MÉTODOS 44
3.1. Material 44
3.1.1. Matéria prima 44
3.1.2. Equipamentos 44
3.2. Métodos 45
3.2.1. Torração 45
3.2.1.1. Umidade 48
3.2.1.2. Cor 48

3.2.2. Moagem e granulometria 48
3.2.3. Estrutura do tecido do café torrado 49
3.2.4. Determinação da porosidade 50
3.2.4.1. Volume do grão inteiro do café torrado (VGI) 50
3.2.4.2. Volume, sem a porosidade, de café torrado (VSP) 50
3.2.4.3. Volume da porosidade do café torrado (VP) 50
3.2.4.4. Coeficiente da porosidade (ξ)... 51
3.2.5. Medição da liberação do gás carbônico ... 51

4. RESULTADOS 55
4.1. Caracterização da matéria-prima 55
4.1.1. Grau de torragem 55
4.1.2. Granulometria 55
4.1.3. Estrutura do café torrado 58
4.1.4. Volume do grão inteiro, volume sem porosidade do café torrado, volume da porosidade do café torrado e coeficiente da porosidade... 62
4.1.5. Liberação do gás carbônico 62
4.1.5.1. Pressões 62
4.1.5.2. Volume do CO_2 liberado em café torrado 62
4.1.5.2.1. Café com torração fraca 62
4.1.5.2.2. Café com torração forte.. 63

5. DISCUSSÃO 73

6. CONCLUSÕES 86

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1. Produção brasileira e paulista, em milhões de sacas de 60 kg., de café beneficiado nos últimos 15 anos 05

QUADRO 2. Tamanho das partículas, número de partículas por unidade de peso 29

QUADRO 3. Granulações do café torrado e moído adotadas pelas indústrias dos Estados Unidos 30

QUADRO 4. Séries de peneiras e diâmetro das malhas mais usadas para café torrado e moído 31

QUADRO 5. Temperatura e tempo da torração 48

QUADRO 6. Umidade e valores médios da cor de café torrado (TC, TF) de 12 amostras) 56

QUADRO 7. Distribuição granulométrica das partículas nas moagens A, C e D 57

QUADRO 8. Diâmetro médio ponderado (d.m.p.) das partículas do café torrado e moído com moagens A, C e D. 59

QUADRO 9. Porosidade de 10 g. de café torrado em grão (média de 6 amostras) 61

QUADRO 10. Porcentagem de CO_2 residual em café depois da moagem (CO_2 em café torrado inteiro = 100%)..... 75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Partes do café "cereja" (corte longitudinal) ... 06

FIGURA 2. Corte transversal de semente indicando a cavidade embrionária (c.emb.) endosperma dura (endos.d.) e endosperma mole (endos.m.)(40x)..... 07

FIGURA 3. Curva de dilatação do grão de café durante a torragem 18

FIGURA 4. Esquema dos aparelhos empregados para a avaliação da granulometria do café moído. a) movimento circular; b) movimento vibratório; c) injeção de ar..... 33

FIGUFA 5. Perda da qualidade do café torrado e moído durante a comercialização à temperatura ambiente ($\pm$ 23°C) 37

FIGURA 6. Representação esquemática de uma partícula de café torrado e moído 41

FIGURA 7. Desenho do aparelho de estudo da liberação de CO_2 do café torrado e moído 46

FIGURA 7A. Fotografia do aparelho de estudo de liberação de CO_2 do café torrado e moído 47

FIGURA 8. a) Pressão (P_o) no balão A do tempo t_o
b) Pressão (P_t) no tempo t_t 51

FIGURA 9. Volume do equipamento VE..... 53

FIGURA 10. Corte transversal do café torrado (70x) 60

FIGURA 11. Corte transversal do café torrado (30x) 60

FIGURA 12. Pressões de CO_2 obtidas de 200g. de café com torração fraca (TC) em grão inteiro(I) e com moagens A, C e D a temperatura de $22^{\pm}$ 1ºC. 64

FIGURA 13. Pressões de CO_2 obtidas de 200g. de café com torração fraca (TC), em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D a temperatura de $32^{\pm}$ 1ºC. 65

FIGURA 14. Pressões de CO_2 obtidas de 200g. de café com torração forte (TF) em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D a temperatura de $22^{\pm}$ 1ºC. 66

FIGURA 15. Pressões de CO_2 obtidas de 200g. de café com torração forte(TF) em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D a temperatura de $32^{\pm}$ 1ºC 67

FIGURA 16. Volume de CO_2 liberado de 100g. de café com torração fraca (TC) a temperatura de $22^{\pm}$ 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I)e com moagens A, C e D. 69

FIGURA 17. Volume de CO_2 liberado de 100g. de café com torração fraca (TC) a temperatura de $32^{\pm}$ 1ºC e a pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D 70

FIGURA 18. Volume de CO_2 liberado de 100g. de café com torração forte (TF) a temperatura de $22^{\pm}$ 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D 71

FIGURA 19. Volume de CO_2 liberado de 100g. de café com torração forte (TF) a temperatura de 32^{+}_{-} 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D 72

FIGURA 20. Porcentagem (após a moagem) do CO_2 residual do café moído com torração forte (TF) e torração fraca (TC) para diferentes diâmetros médios ponderados (d.m.p.) (CO_2 em café torrado inteiro = 100%). 76

FIGURA 21. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, de café com torração fraca (TC) a temperatura de 22^{+}_{-} 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens C e D..... 77

FIGURA 22. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, de café de com torração fraca (TC) a temperatura de 32^{+}_{-} 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens C e D. 78

FIGURA 23. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, do café com torração forte (TF) a temperatura de 22^{+}_{-} 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens C e D 79

FIGURA 24. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, de café com torração forte (TF) a temperatura de 32^{+}_{-} 1ºC e pressão normal em grão inteiro (I) e com moagens C e D 80

FIGURA 25. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração fraca, com moagens A, C e D e temperatura de repouso de 22^{+}_{-} 1ºC, nas 30 primeiras horas depois da moagem 82

FIGURA 26. Porcentagem de CO_2 liberado em café torração forte com moagens A, C e D e temperatura de repouso de $22^{\pm}$ 1ºC nas primeiras 30 horas depois da moagem 82

FIGURA 27. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração fraca e moagem A, nas temperaturas de repouso de $22^{\pm}$ 1ºC e $32^{\pm}$ 1ºC , nas primeiras 30 horas depois da moagem 83

FIGURA 28. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração fraca, em moagem D nas temperaturas de repouso de $22^{\pm}$ 1ºC e $32^{\pm}$ 1ºC, nas primeiras 30 horas depois da moagem 83

FIGURA 29. Porcentagem de CO_2 liberado com café com torração forte e moagem A nas temperaturas de repouso de $22^{\pm}$ 1ºC e $32^{\pm}$ 1ºC nas primeiras 30 horas depois da moagem 84

FIGURA 30. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração forte e moagem D nas temperaturas de repouso de $22^{\pm}$ 1ºC e $32^{\pm}$ 1ºC, nas primeiras 30 horas depois da moagem 84

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A)-torração fraca (22^{+}_{-} 1ºC)..... 95

ANEXO 2. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado e moído(C,D) torração fraca (22^{+}_{-} 1ºC) 96

ANEXO 3. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (D) - torração fraca (32^{+}_{-} 1ºC) 97

ANEXO 4. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado e moído(A,C) torração fraca (32^{+}_{-} 1ºC) 98

ANEXO 5. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A) - torração forte (22^{+}_{-} 1ºC). 99

ANEXO 6. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento de CO_2 liberado do café torrado e moído (C,D) torração forte (22^{+}_{-} 1ºC) 100

ANEXO 7. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento de CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (C,D)- torração forte (32^{+}_{-} 1ºC) 101

ANEXO 8. Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado e moído (A)- torração forte ($32^{\pm}$ 1ºC) 102

ANEXO 9. Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D)- torração fraca ($22^{\pm}$ 1ºC; 760mm Hg) 103

ANEXO 10. Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D)-torração fraca ($32^{\pm}$ 1ºC; 760 mm Hg) 104

ANEXO 11. Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração forte ($22^{\pm}$ 1ºC; 760 mm Hg) 105

ANEXO 12. Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração forte ($32^{\pm}$ 1ºC; 760 mm Hg) 106

ANEXO 13. Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t = cm^3CO_2/h$) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) torração fraca ($22^{\pm}$ 1ºC ; 760 mm Hg)..... 107

ANEXO 14. Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t = cm^3CO_2/h$) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) torração fraca ($32^{\pm}$ 1ºC ; 760 mm Hg) 108

ANEXO 15. Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t$ = cm^3CO_2/h) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) torração forte (22 ± 1°C; 760 mm Hg) 109

ANEXO 16. Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t$ = cm^3CO_2/h) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) torração forte (32 ± 1°C; 760 mm Hg) 110

ANEXO 17. Porcentagem (%) do CO_2 liberado do café torrado fraco em moagens A, C e D 111

ANEXO 18. Porcentagem (%) do CO_2 liberado em café torrado forte, em moagens A, C e D..... 112

AGRADECIMENTOS

. Ao Prof. da FEAA-UNICAMP, Dr. Antônio de Melo Serrano, pelo apoio e estímulo permanente na condução do presente trabalho

. Ao Dr. Dietrich G. Quast, pelas sugestões oferecidas no desenvolvimento deste trabalho

. Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, pelas facilidades outorgadas para a execução desta pesquisa

. Particularmente agradeço ao pesquisador Dr. Roger Marcel Soler por sua permanente colaboração

. Ao Dr. Luiz F. Ceribelli Madi, Chefe da Seção de Embalagem e Acondicionamento

. A todo seu pessoal de Seção de Embalagem e Acondicionamento que facilitou meu trabalho

. A Companhia UNIÃO dos Refinadores e Torrefadores pelo financiamento econômico do presente trabalho e particularmente ao Dr. Eduardo Rosseti Gugliotti e Dr. José Muradiam

. Ao Dr. Alfredo de Almeida Vitali, por suas acertadas sugestões

. A pesquisadora da Seção de Avaliação e Controle de Qualidade, Dra. Vera L.P. Ferreira

. Ao Instituto Brasileiro do Café IBC, pelas facilidades outorgadas no presente trabalho

. A Dra. Deborah de Queiroz Tavares, por sua acertada colaboração

. A Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação ABIA pelo apoio financeiro às cópias deste trabalho

. A Sra. Jacira E.M.Fernandes Leme pela datilografia

. A Sra. Dora Duarte Chiaramonte pelos desenhos.

RESUMO

O presente trabalho visou estudar as taxas de liberação de gás carbônico do café torrado e moído. Consistiu em medir as pressões criadas pela liberação de CO_2 de uma amostra do café torrado e moído, num aparelho manométrico previamente desenhado e construído por nós.

O volume do gás liberado foi determinado a partir do aumento das pressões manométricas ($\Delta h_o - \Delta h_t$), de 200g de amostra de café torrado e torrado e moído. Com os dados obtidos das pressões calcularam-se os volumes de CO_2 liberado de 100g de amostra.

O estudo foi realizado em café com torração forte e café com torração fraca, com moagens grossas (d.m.p. = 0,96mm) e finas (d.m.p. = 0,38 - 0,55mm), e considerando duas temperaturas de armazenamento ou repouso (22 ± 1^oC e 32 ± 1^oC), antes da embalagem.

Os resultados obtidos podem ser assim resumidos:

1. O café com torração forte (TF) tem maior coeficiente de porosidade (ξ) que o café com torração fraca (TF).

2. Com a diminuição do diâmetro médio ponderado das partículas de café torrado e moído diminui o CO_2 retido logo depois da moagem.

3. Para um mesmo diâmetro médio ponderado, o café com torração fraca retém mais CO_2 que o café com torração forte.

4. Para uma granulometria grossa (d.m.p.= 0,96 mm) a liberação de CO_2 é maior à temperatura de repouso de 32 ± 1°C, do que à de 22 ± 1°C; para uma granulometria fina (d.m.p. = 0,38 mm) não há diferenças, praticamente.

5. As taxas de liberação de CO_2 são muito altas nas primeiras 10 horas depois da moagem e depois das 30 horas são muito pequenas.

6. Quando em repouso, as moagens finas (C e D) liberam maior porcentagem de seu conteúdo de CO_2 que a moagem grossa (A).

SUMMARY

This work studied the evolution of carbon dioxide in roasted and ground coffee. The pressures development when the carbon dioxide was evolved from a sample of roasted and ground coffee were measured by a manometric apparatus bult up in our laboratory.

The volume of gas evolved was determined from the increase in the manometric pressures ($\Delta h_o - \Delta h_t$), of 200 g of samples of roasted and roasted and ground coffee.

From the pressure data the evolved volume of CO_2 from 100 g of sample were calculated.

For this study the coffee was roasted in two differents conditions ground in different particles sizes and stored at two different temperatures before packaging.

The results obtained can be summarized as follows:

1. The coffee roasted at the highest condition has the higher coefficient of porosity (ξ).

2. Decreasing de weight average diameter of the roasted and ground coffee, decreases the CO_2 retained just after the grinding.

3. For the same weight average diameter the coffee roasted at the lowest condition retain greater amount of CO_2.

4. For the thick granulometry the CO_2 evolution is higher at 32ºC. For the thin granulometry there is almost no difference.

5. The rate of CO_2 evolution is very high during the first 10 hours after the grinding but very low after 30 hours.

6. While resting before the packaging, the thin grinding coffee evolved higher percentage of its CO_2 than the thick grinding coffee.

1. INTRODUÇÃO

O café se enquadra dentre os alimentos e estimulantes, onde o aroma e sabor são itens muito importantes. Ter aroma intenso e bom sabor fazem parte de um café fresco e de alta qualidade.

Para oferecer essa qualidade aos consumidores é necessário adotar algumas medidas na sua conservação e embalagem, pois o café torrado sofre, num curto espaço de tempo, modificações que alteram de forma significativa a sua qualidade. O principal ponto desta perda de qualidade está relacionado fundamentalmente à grande sensibilidade do café torrado ao oxigênio.

É conhecido que durante a torração de café, não somente se obtêm coloração adequada e formação de aroma, mas também ocorre uma formação considerável de gás carbônico (CO_2), o qual é armazenado no grão.

Este gás, se difundido das células dentro de uma embalagem impermeável, após a torração, constitui um especial problema, pois ocasiona um aumento da pressão, chegando muitas vezes a estufar a embalagem.

Em algumas partes do mundo, inclusive no Brasil, a solução adotada para evitar a estufagem tem sido a perfuração das embalagens para facilitar a liberação de CO_2, o que tem sido definido erroneamente como vácuo compensado. Esta solução cria problemas na vida útil do produto: se por um lado permite a saída de CO_2, por outro permite a entrada de O_2, que altera consideravelmente a qualidade do produto em pouco tempo.

Em outros países, especialmente da Europa (Alemanha, Itália, França, etc.) têm sido realizados estudos visando o desenvolvimento de embalagens que permitam a solução da problemática

mencionada: embalagens com válvula e embalagens com capacidade de absorver CO_2 e outros.

Baseados no exposto e considerando a deficiência de estudos realizados neste assunto, encetamos o presente trabalho, na intenção de termos alguns dados sobre a liberação do CO_2, de que é carente a literatura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO

O café foi introduzido no Pará em 1727 e logo se deslocou para o Maranhão (1747), Rio de Janeiro (1774) e, poucos anos depois, para o Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. Em 1809 atingia Campinas e, a seguir, as famosas terras roxas do oeste do estado foram plantadas de café da mais fina qualidade. A introdução do café no Brasil se constituiu num dos mais expressivos acontecimentos para a agricultura e resultou num dos ciclos mais importantes do desenvolvimento econômico (19).

Apesar da produção de café ter declinado substancialmente nos últimos 10 anos, passando de uma safra de 37,0 milhões de sacas de 60 kg , no biênio 65/66, para 17,4 em 1980/81, o Brasil ainda é o maior produtor e exportador mundial de café, tendo participado com 29,8% do consumo mundial, em 1974, e com 25%, em 1980 (27).

A média destes últimos anos foi de 21,6 milhões de sacas, cabendo em média a São Paulo 36% da produção total do Brasil (19).

Em 1800, o Brasil exportava as 13 primeiras sacas de café; em 1830 já liderava a produção mundial e, no final do século XIX, a exportação atingia 450000 t , o que correspondia a 64% das receitas do país. As crescentes produções verificadas com a expansão do cultivo nos anos que se seguiram, principalmente na década de 30, provocaram um excesso de produção para um mercado pouco elástico de café, originando-se vultuosos estoques, que precisaram ser eliminados (19).

Em 1950, repete-se o problema do excesso de produção e o governo opta então pela eliminação seletiva de pés, através do Plano de Erradicação do Cafeeiro. Esse plano foi executado de 1962 a 1965, eliminando-se numerosos cafezais de baixa produtividade e substituindo-se por outros, em menor número, porém mais produtivos.

A ocorrência, em vários anos, de condições adversas para o cafeeiro (geadas, secas, presença da ferrugem, maior incidência de bicho mineiro e nematoides) fez decrescer, consideravelmente, a produção cafeeira. O que se pode apreciar pelos dados no Quadro 1 (19).

2.2. ESPÉCIES DE CAFÉ

As espécies de café mais cultivadas no mundo são *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, comumente denominadas "café arábica" e "café robusta", respectivamente. O café robusta tem sido cultivado principalmente nos países africanos, enquanto o café arábica quase que totalmente nos países americanos, atendendo 70% do mercado internacional. Em 1963, a espécie de café mais cultivada era o *Coffea arabica* representando 85% do total produzido (31).

2.3. ESTRUTURA DO CAFÉ MADURO ("CEREJA")

O fruto maduro do cafeeiro, comumente denominado "cereja", é formado pelas seguintes partes (Figura 1):

a. Casca (epicarpo)
b. Polpa, ou mucilagem ou mel do café (mesocarpo)
c. Pergaminho
d. Semente (película prateada, endosperma e embrião)

QUADRO 1 Produção brasileira e paulista, em milhões de sacas de 60 kg , de café beneficiado nos últimos 15 anos (19)

ANO SAFRA	BRASIL	SÃO PAULO	SÃO PAULO EM RELAÇÃO AO BRASIL, (%)
1965/66	37,0	11,2	30
1966/67	18,8	6,2	33
1967/68	24,5	8,5	35
1968/69	17,0	4,6	27
1969/70	20,6	6,1	30
1970/71	11,0	4,4	40
1971/72	24,6	9,8	40
1972/73	24,5	6,4	38
1973/74	14,3	7,0	49
1974/75	28,1	9,8	35
1975/76	22,2	7,0	32
1976/77	6,0	1,9	32
1977/78	16,1	7,6	47
1978/79	20,0	8,3	42
1979/80	21,6	8,4	39
1980/81	17,4	7,0	40
MÉDIA	21,6	7,8	36

A água se distribui com bastante desuniformidade dentro do grão cereja. Segundo Barbosa et alli (6), a distribuição da água nas diferentes partes do grão é aproximadamente a seguinte porcentagem (porcentagem em base úmida): casca (20-50%); polpa (76 -90%); semente com pergaminho (48-49%) (6).

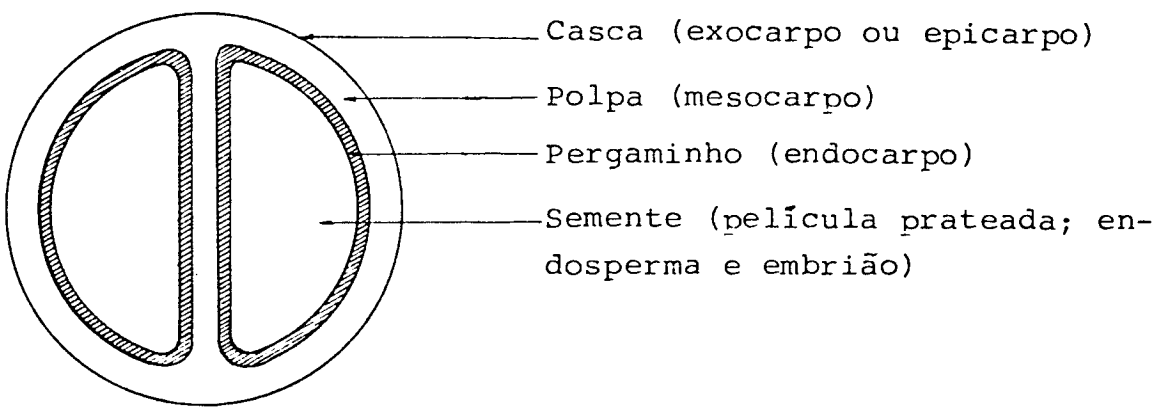


FIGURA 1. Partes do café "cereja" (corte longitudinal).

2.3.1. Estrutura das sementes: (albúmen)

As sementes do cafeeiro são plano-convexas, elípticas ou ovais, sulcadas longitudinalmente e constituem-se de uma película prateada, endosperma e embrião (14).

a. Envoltório ou película prateada. - É de cerca 70 μ de espessura (14) e constituido por numerosas células esclerenquimatosas dispostas em diversas direções, sendo a maioria delas paralelas à superfície da semente (13).

b. Endosperma. - Constituido por tecido de reserva de semente e constitui a maior parte da massa do grão de café (13).

Na semente madura, o endosperma apresenta-se como um tecido córneo, esverdeado ou cor de cana. Um exame detalhado das diversas camadas de tecido endospérmico revela diferenças na sua estrutura o que provavelmente está ligado a sua composição

química. A camada mais externa do tecido endospérmico, aquela que se encontra diretamente revestida pela película prateada, é uniforme e tem o aspecto de uma epiderme, cujas células apresentam paredes espessas. Seguem-se diversas camadas de células poliédricas, ao nível da região mediana do endosperma. Junto à cavidade embrionária (c. emb.,Figura 2) as células se tornam achatadas, alongadas paralelamente à superficie externa, constituindo-se num conjunto de camadas compridas que estabelecem uma região mais densa de células. A zona densa marca o limite entre as duas porções de endosperma.

Moeller (apud 58), designa respectivamente endosperma duro e endosperma mole (Figura 2), as porções interna e externa da zona densa, favorecendo assim a teoria de que realmente eles são diferentes quanto à composição química (15).

c. Embrião.-Está localizado na base da semente, na sua face convexa.

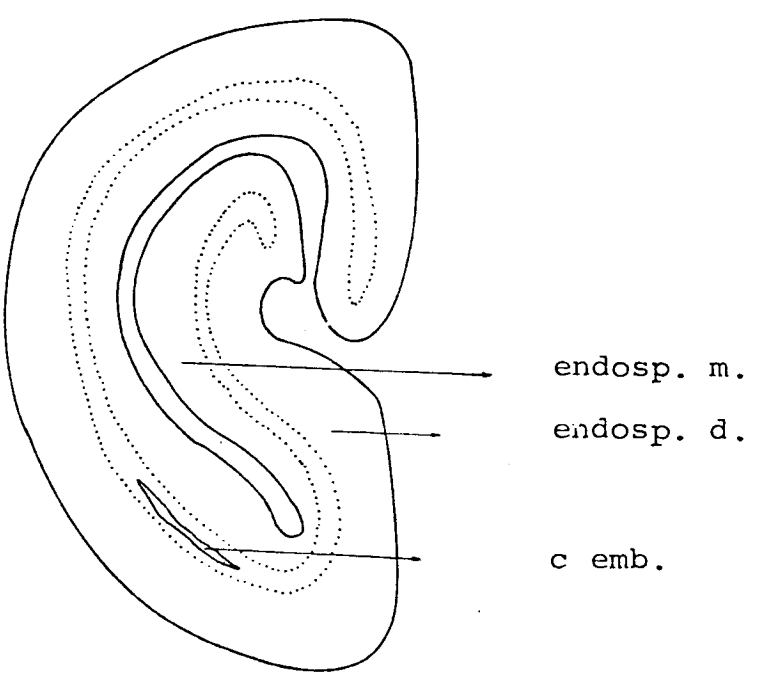


FIGURA 2. Corte transversal de semente indicando a cavidade embrionária (c.emb), endosperma duro (endos.d) e endosperma mole (endos.m) (40 x)

2.4. SECAGEM DO CAFÉ VERDE:

O café antes do beneficiamento pode apresentar-se sob duas formas (56):

a) Café despolpado ou café lavado. É a semente envolta apenas no pergaminho, portanto sem casca e polpa. Neste caso o preparo que venha a ser feita é denominada "por via úmida".

b) Café integral ou coco: - São os grãos com todas as suas partes constituintes. Neste caso o preparo que venha a ser feita se denomina "por via seca".

2.4.1. Tipos de secagem do café:

2.4.1.1. Secagem natural:

A secagem natural utiliza a energia solar, expondo-se os grãos diretamente aos raios solares ou por circulação de ar natural ou forçada através do produto.

No Brasil a secagem natural do café consiste em esparramar os grãos naturais em terreiros de tijolos, cimento ou chão batido.

Segundo Carvalho (12), os lotes de café com muitos grãos cerejas, devem ser removidos 4 vezes por dia nos 4 primeiros dias de secagem. A partir do 7º dia de secagem o café pode ser amontoado a tarde, coberto com encerado, e assim permanece durante a noite. A secagem em terreiros varia de 10 a 20 dias, até que os grãos atinjam um teor final de umidade entre 11 e 13% (base úmida).

De acordo com Mônaco (34) a luz solar tem efeito benéfico na qualidade da bebida do café. A secagem conduzida somente em

secadores, prejudica o produto. É conveniente combinar a secagem natural com a artificial.

2.4.1.2. Secagem artificial

A secagem artifical consiste em submeter uma camada espessa do produto a uma corrente de ar aquecido. O produto pode estar em movimento ou estático.

Sivetz & Foote (52), descrevem alguns tipos de secadores utilizados para café despolpado e não despolpado. O desenho destes secadores foi feito baseado em secadores dos outros grãos e informações práticas.

Os mais utilizados no Brasil são tipos contra-corrente (secador Moreira) e fluxos perpendiculares (secador D'Andrea), sendo ambos secadores contínuos (56)

2.5. ARMAZENAMENTO:

2.5.1. Café em coco:

Embora o café em côco possa ser armazenado com teor de umidade de até 24%, recomenda-se um teor de 15 a 18%, evitando-se assim possíveis alterações na tulha (31).

2.5.2. Café beneficiado:

O café beneficiado, normalmente com teor de umidade em torno de 11 a 12%, é acondicionado em sacos de juta, com pêso de 60 quilos, e guardado em armazéns limpos e bem ventilados. Os lotes de café devem ser empilhados separadamente, segundo a sua origem (31, 56).

Quanto à área necessária ao armazenamento, recomendam as normas técnicas brasileiras construção de armazéns com pé direito de 6,00 metros de altura e pilhas não superiores a 4,50 m (31, 56).

2.6. CAFÉ TORRADO E MOÍDO.

No processo de torração e moagem do café é importante considerar as seguintes etapas: recepção de matéria prima, "blending", pesagem, torração, resfriamento, moagem, repouso (liberação de CO_2), empacotamento e estocagem.

2.6.1. Recepção da matéria prima

Geralmente o café é recebido na fábrica em sacos de 60 kg. Dependendo das características do produto e dos processos de manuseio empregados, poderá ser armazenado em silos de tamanho adequado, após passar por um processo de limpeza e seleção manual ou eletrônica. Nesta etapa, há, geralmente, uma esteira com separador magnético para eliminar pedaços de ferro que podem danificar o moínho. O café pode ser transportado pneumaticamente. Os silos devem ter a base em forma cônica, a fim de que possam ser descarregados completamente. A inclinação das paredes na parte cônica deve ser, no mínimo, 45° (41).

O café poderá ser armazenado nos silos de acordo com a sua procedência e qualidade.

A liga ("blending") é um processo de mistura de dois ou mais tipos de café. Essa mistura pode ser feita pela adição de novos tipos de café, em bateladas, ou então a mistura é feita contínua e automaticamente (41). O objetivo é a padronização da qualidade do café.

2.6.1.1. Características físicas e químicas do café:

- Exigências do café crú no Brasil:

O Decreto nº 12486 de 20/10/78, do Estado de São Paulo, que estabelece "NORMAS TÉCNICAS ESPECIAIS RELATIVAS A ALIMENTOS E BEBIDAS" e a Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos nº 12/78, fixaram as seguintes características físicas e químicas: (3).

- Densidade aparente	0,7 g/mℓ
- Umidade máxima	11% p/p
- Resíduo mineral fixo, máximo	5% p/p
- Resíduo mineral fixo, insolúvel em ácido clorídrico a 10% (V/V) máximo	1% p/p
- Cafeína, mínimo	1% p/p
- Extrato etéreo total mínimo	10% p/p
- Extrato alcoólico, mínimo	7% p/p
- Nitrogênio total, mínimo	12,5% p/p

- Umidade:

O conteúdo em água do café crú está na dependência da umidade relativa do ar. Para uma umidade relativa em torno de 55-70%, este conteúdo está em 12 $\pm$ 1%. Na Europa, este valor fica entre 6 - 13% com um valor médio de 9,5% (33).

Se o teor de umidade for baixo, ocorre perda de qualidade e os grãos se tornam quebradiços e desenvolvem menor quantidade de aroma durante a torração; se o conteúdo for alto, o processo de des

coloração desenvolve-se mais rápidamente e, além disso, pode-se desenvolver um processo de emboloramento (33).

- Carboidratos:

a) Monossacarídeos:

São encontrados apenas traços de monossacarídeos livres e, segundo alguns autores, somente glucose ou também frutose, manose, galactose e arabinose (39).

b) Oligossacarídeos:

O conteúdo total solúvel em água fria compreende 1,8 - 9,0%, sendo a sacarose aproximadamente mais de 96%, estando em menor quantidade a rafinose e aestaquiose (33).

c) Polissacarídeos:

O conteúdo total importa,no café arábica, em torno de 53%, em base seca, e no robusta cerca de 44% (55). A celulose é encontrada em torno de 5 - 7%. De amido e pectina são encontrados somente traços, enquanto que os outros polissacarídeos compreendem principalmente d-manose; d-galactose e L-arabinose (53).

- Lipídios:

O conteúdo de lipídios é, conforme o tipo de café, de 7 - 17% (base seca). Em média 10% no robusta e 15% no arábica (54).

A maior parte é encontrada na forma líquida e localiza-se no interior das células. Cerca de 1 - 2% dos

lipídios são encontrados na "cera do café" que recobre a superfície dos grãos, em uma camada fina e firmemente aderida (54)

O termo "óleo do café", que é usado frequentemente para os lipídios totais, deve ser melhor utilizado para designar somente a fração existente no interior das células (54).

a) Ácidos graxos e trigliceridios:

Como se depreende do baixo índice de acidez, apenas uma pequena fração dos ácidos graxos está presente na forma dissociada. A maior parte está esterificada com a glicerina (33).

b) Substâncias aromáticas volateis (ou óleo etéreo):

Representa cerca de 0,1%, bem menor que o teor em café torrado (33).

- Proteinas e aminoácidos:

a) Aminoácidos livres:

É provável que, se por um lado, o conteúdo de aminoácidos livres pode variar conforme o tipo do café e a sua proveniência, por outro lado não se pode esperar uma diferenciação geral entre os cafés arábica e robusta. O conteúdo total de aminoácidos livres está entre 1,5 a 2,5 mg/kg (5).

O armazenamento a alta temperatura (60°C) induz, após 1 semana, a uma diminuição de todos os aminoácidos livres e dos grupos E-aminas da lisina, separadas das proteínas, provavelmente devido as reações de

Maillard (39).

b) Proteínas:

Os valores dados pela literatura para a proteína não são ainda definitivos pois são sempre calculados através do método de Kjeldahl para o nitrogênio e daí, através da multiplicação pelo fator 6,25, sem tomar em consideração o alcalóide.

Este valor é melhor calculado através do nitrogênio de aminoácidos (multiplicado por 6,25), embora ocorra uma destruição dos aminoácidos na hidrólise e por isso seu valor seja um pouco menor. Os valores encontrados oscilaram entre 8 e 10% (33).

- Ácidos:

a) Ácidos carboxílicos, dipsídios:

Os compostos mais importantes destes grupos, no café, são os ácidos clorogênicos. O ácido clorogênico está localizado preferencialmente na parte mais interna do grão (33).

b) Ácidos alifáticos:

Já foram identificados os ácidos acético e valérico e provavelmente também os ácidos propiônico e butírico (53).

Entre os ácidos não voláteis encontram-se principalmente os ácidos cítrico (0,5 - 1,15%) e málico (0 - 0,5%). (33 , 53).

- Substâncias Minerais:

O conteúdo em cinzas do café fica entre 3,0 e 5,4%, em base seca, tendo como média 4,0% (33).

- Alcalóides:

A cafeína é o alcalóide mais importante e o de maior concentração no grão do café. Ela é, junto com outros compostos, responsável pelo aroma e sabor do café.

A fórmula de cafeína é 1,3 - 7 -trimetilxantina. O conteúdo (% em base seca) fica, para o "arábica", geralmente entre 0,9 e 1,4. (média 1,0); para o "robusta" entre 1,5 e 1,9 (média 1,7) (33).

2.6.2. Torração:

2.6.2.1. Descrição das fases do processo de torração:

Em torradores contínuos, como em descontínuos, cada grão de café passa por fases distintas durante o processo de torração.

Quando o grão de café é aquecido, a partir de 20ºC já se começa a formar vapor água.

Acima de 60ºC, começa a aparecer uma reação endotérmica, que deve ser atribuida, inicialmente, à evaporação da água. Esta fase termina em 100ºC. Esta operação consome 15% da energia total da torração (53).

A partir de 100ºC é evaporada a maioria da água não ligada. O grão de café começa a inchar, os compostos orgânicos começam a se transformar, o que é indicado por uma mudança de coloração. Entre 100 a 150ºC rompe-se a fenda central e com isto des-

prende-se parcialmente a película prateada.

Perto da 150ºC atinge-se o máximo da fase das reações endotérmicas.

A partir de 170ºC as proteínas tornam-se insolúveis. Ainda se encontram atividades consideráveis de polifenoloxidase, peroxidase e B-galactoxidase. Esta última é encontrada até cerca de 200ºC (33).

Entre 170ºC e 190ºC já se formam as primeiras frações, dignas de se notarem, de compostos aromáticos (33).

De 180 até 200ºC começa a pirólise, uma fase de reações de degradação, condensação e polimerização. A fração mais considerável de melanoidina, castanha, forma-se através de reações de Maillard e caramelização, o mesmo ocorrendo para compostos aromáticos. Começa a desprender-se uma fumaça azul. A parte interna do grão torna-se quebradiça (33).

Na fase final de torração, acima de 200ºC, aumenta a formação de melanoidinas e substâncias aromáticas.

A 230ºC tem início a carbonização. Começa a aparecer o óleo na superfície do grão ("suor"). Os radicais livres aumentam proporcionalmente com a temperatura (33).

Pouco antes do produto atingir o ponto de torração desejado, é resfriado rápidamente por meio de uma corrente de ar ou mesmo pulverizando-se água (41), de modo a interromper a reação exotérmica (pirólise). Mesmo assim, esta ainda continua por algum tempo dependendo da velocidade de resfriamento.

2.6.2.2. Modificações físicas durante a torração:

Cor:

A principal modificação física dos grãos de café durante a torração é o escurecimento, que é uma consequência da caramelização de açúcares e das reações de Maillard, entre açúcares redutores e aminoácidos. A cor do grão de café pode ser usada para determinar o grau de torração, podendo ser um indicativo do processo de torração (20).

Volume:

O aumento total do volume é da ordem de 20 - 100%, (Figura 3). Portanto a câmara do torrador deve ser preenchida com café até apenas à metade do seu volume. A densidade muda de 1,1 - 1,3 para 0,6 - 0,7 (13, 33).

Consistência:

O grão de café torrado é mais mole e áspero que o grão cru. É também mais quebradiço, especialmente devido a seu baixo conteúdo de água (33).

Perda de peso:

A perda de peso traz diminuição da densidade aparente (41). É definida pelo fator de torração (T%)

$$T\% \text{ (torração)} = \frac{100 \text{ (P verde - P torrado)}}{\text{P verde}} \quad \text{..(Eq. 1)}$$

onde P é o peso do café.

O fator de torração importa em 12 - 15% em torração clara, 15 - 17% em torração média e 18 - 20% ou mais em torração escura.

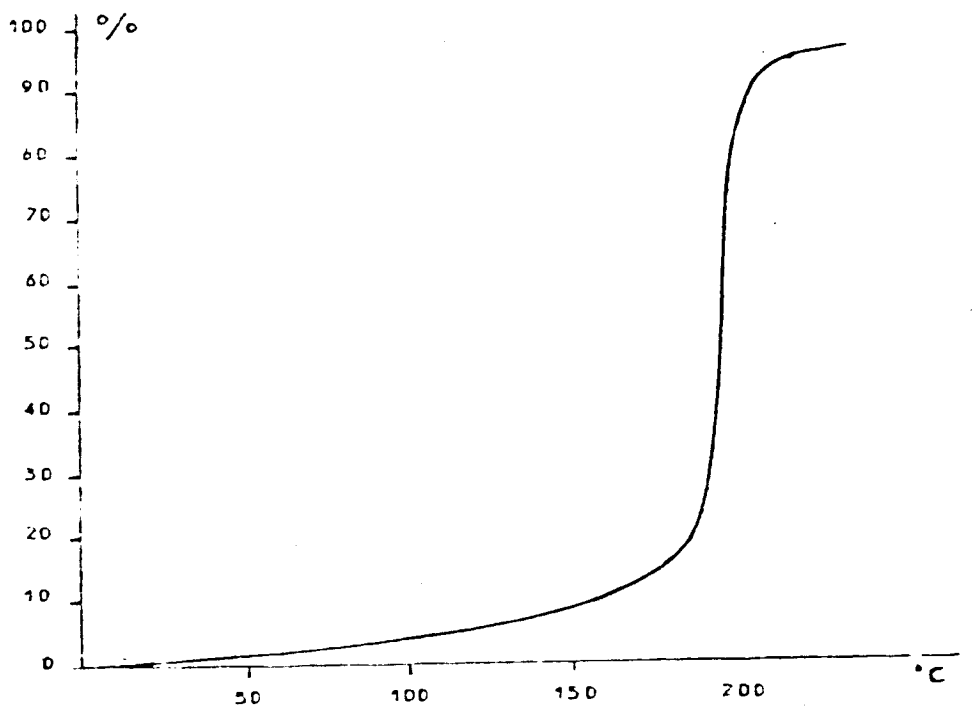


FIGURA 3. Curva de dilatação do grão de café durante a torragem (13).

Heiss e Radtke (24) definiram como grau de torração GT(%) = 100/Y, onde "Y" significa o valor de remissão espectrofotométrica. GT têm valor de 3,5 - 3,8 para torração clara; 4,0 para torração escura.

Perda de água:

O conteúdo de água passa de 10 - 14% para 2 - 4% (valores extremos: 0,5 - 5,0%). A torração escura apresenta um teor de água aproximadamente de 0,5%. Um café acima de 5% apresenta um gosto de velho bastante desagradável (24, 33). Cerca de 0,5 - 1,0% é ligada (33). No Brasil exige-se para café torrado um máximo de umidade de 6% (P/P) (3).

Produção de gases:

Os principais compostos resultantes da pirólise são o gás carbônico (CO_2) e monóxido de carbono (CO). ((1 a 2%), na relação de 95% de CO_2 por 5% de CO (14). São formados através de processos de descarboxilação ou descarbonilação durante a torração (33, 52, 53).

Quast (45) constatou uma liberação de 0,005 kg. de CO_2/ kg. de café verde. A quantidade de CO_2 retirada nos grãos após a torração é pequena, embora o volume seja suficiente para estufar embalagens pouco permeáveis.

Metade desse gás é eliminado durante a torração, enquanto que a outra permanece no interior dos grãos e é liberada durante a moagem (33). Estes gases permanecem no grão submetidos a uma pressão de 0,3 a 1,2 mPa normalmente em torno de 0,6 a 0,8 mPa (46).

Sivetz e Foote (52) opinam que o gás é responsável por 50% do volume de grão torrado e está com a pressão até 14 atm O CO_2 está parcialmente absorvido.

Devido à excessiva pressão dos gases dentro dos grãos de café, as estruturas celulares amolecem e em consequência produz-se uma progressiva fragilidade do grão e finalmente a ruptura do tecido. As rupturas são mais visíveis na fase final de torração (46).

Como o dióxido de carbono se origina nas células durante a torração, a quantidade desenvolvida depende do grau da torração. Além disso, também existe uma certa dependência da espécie de café (8).

Modificações estruturais da semente pela torração:

Pelo processo de torração altera-se a estrutura das sementes, devido em parte a desidratação e acúmulo de CO_2 nas células do endosperma (15).

Coste (13) afirmou que o aumento de volume mais importante está na faixa de 180º e 220ºC de torração. Este aumento varia de 30% a 100%, sendo mais comum de 50 a 80%.

Num corte transversal dos grãos de café torrado, vê-se um grande orifício (caverna) entre endosperma mole e o endosperma duro, além da estrutura porosa de todo o tecido (29). Esta estrutura porosa é constituída de espaços muito pequenos e cavernas.

O conjunto destes espaços é denominado espaço livre (VEL); por isso a relação do volume deste espaço livre com o volume do grão inteiro é denominado porosidade (12).

Esta característica é muito importante na determinação

da quantidade do gás liberado (CO_2), por que a uma maior porosidade corresponde maior quantidade de gás carbônico armazenado.

2.6.2.3. Modificações químicas durante a torração:

O sabor e aroma característico do café é consequência direta das reações químicas que ocorrem durante a torração. Essas reações são complexas (41).

pH:

O pH cai de 6,0 para 5,1 devido à formação de diversos ácidos orgânicos a partir de carboidratos. A torração intensa elimina muitos dos ácidos voláteis.

O valor do pH dos extratos aquosos fica em torno de 4,9 e 5,5 na torração clara, entre 5,4 e 5,9 na torração bastante escura e nos cafés encontrados no comércio entre 4,95 e 5,30.

Carbcidrato:

Os carboidratos do café são alterados conforme o grau da torração.

Os monossacarídeos desaparecem, principalmente, através da reação de Maillard, como também de caramelização. Os oligossacarídeos e uma parte dos polissacarídeos são transformados para compostos de baixo peso molecular e/ou reagem exatamente como os monossacarídeos (33).

A sacarose é caramelizada e decomposta quase que completamente (41).

As pentosanas são parcialmente transformadas em furfural, que confere o odor característico ao café torrado (41).

Lipídios:

Os lipídios do café sofrem pequenas mudanças durante a torração (54, 58). O conteúdo total de lipídios, dados em matéria seca, mostra-se inalterado. As pequenas mudanças oxidativas dos lipídios não afetam o gosto e qualidade do produto (33).

Substâncias aromáticas voláteis:

O conteúdo total de substâncias aromáticas no café torrado é de 1 g/kg. Isto faz do café torrado um dos alimentos mais ricos em aromas.

Staudinger e Reichstein (apud 17), aplicando os meios de química analítica clássica, encontraram 70 componentes do aroma do café; posteriormente, com ajuda de análises modernas, no Instituto Fuer Lebenssnittel Technologie und Verpackung, e.v. de Munich, determinaram-se aproximadamente 400 substâncias aromáticas do café e, no final de 1978, este número já alcançava 639 compostos, (57).

O furfural apresenta-se em grande concentração (33).

Quase nenhum composto aromático simples percorre um mesmo caminho de formação, a não ser talvez o mecanismo geral do furfurilmercaptano (2-furilmetantiol) que já havia sido identificado a partir dos anos 20 (33).

Os grupos de substâncias que podem realmente resultar em odor de café são as pirazinas, os fenóis e ácidos monocarboxílicos, os derivados de piridinas, pirrol e o maltol. O caveofuram tem odor de torração e fumaça e o trans-2-nonenal deve ser responsável pelo odor celulósico do café crú (35, 7).

O grupo de aldeídos e de cetonas são os principais responsáveis pela constituição do aroma do café. Com o aumento do

grau de torração, aumenta o conteúdo de piridinas, aldeídos cetonas e fenois (33).

Proteína e aminoácidos:

Os aminoácidos livres são encontrados em pequenas quantidades. A maioria reage principalmente com açúcares redutores formando produtos derivados da reação de Maillard (33).

Uma parte dos aminoácidos deve transformar-se em melanoidinas, o resto das proteínas é desnaturado e com isto torna-se insolúvel em água quente.

Ácidos:

a) Ácidos clorogênicos:

Os ácidos clorogênicos são destruídos, conforme o tipo de café: cerca de 30% na torração clara; na torração escura em torno de 70%, e na torração muito escura em em torno de 98% (53).

Os ácidos clorogênicos e seus produtos de degradação são possivelmente transformados em melanoidinas (33).

b) Ácidos voláteis:

Durante a torração, são formados diversos ácidos voláteis, em especial os ácidos acético, fórmico e butírico. De uma maneira geral o conteúdo de ácidos voláteis permanece em torno de 0,5% (8-9 m mol/100 g) (33).

Minerais:

O conteúdo total de minerais não é alterado pela torração (54).

Alcalóides:

A cafeína não tem sua composição química alterada pela torração, porém, normalmente, em torno de 10% é sublimada (33).

Substâncias corantes:

As substâncias corantes são caracterizadas como "melanoidinas", que se formam a partir da reação de Maillard ou da caramelização. As melanoidinas são compostos de grande complexidade estrutural e de alto peso molecular (33).

2.6.2.4. Mudanças durante o armazenamento do café torrado em grãos:

No armazenamento aberto e desprotegido, o café torrado está sujeito a influência de uma série de fatores, como, por exemplo, vapor de água, luz, oxigênio do ar, que pode provocar as mais diversas modificações, como vemos a seguir.

Perda do gosto e odor

Não se deverá concluir diretamente que a perda de substâncias voláteis constituam-se num fator essencial de deterioração uma vez que as substâncias de maior volatibilidade, entre os componentes aromáticos, são responsáveis, em primeira linha, pelo odor do café, enquanto as substâncias menos voláteis importam mais para o gosto do extrato (8).

Experiências demonstraram que o café torrado poderia ser submetido durante 55 dias consecutivos ao fluxo de nitrogênio gasoso, arrastando consigo as substâncias aromáticas mais voláteis, sem que se verificasse uma redução considerável da qualidade do café (8, 10).

Perda de CO_2:

Durante a torração, como já foi dito, são formados alguns gases, que são perdidos completamente num espaço de até 200 dias, dependendo da porosidade do grão. A maior parte desses gases (3000 - 4000 cm^3/kg), já é perdida após 15-30 dias (33).

Adsorção de Vapor de água:

Se o café torrado for deixado em contato com o ar, em vez de haver uma diminuição do peso em função da perda de gases, ocorre um aumento do peso em função de adsorção de vapor de água e oxigênio. Em uma amostra comercial de café, este aumento de peso, durante 24 horas, poderá ser de 2,2 a 4,2% (32).

De acordo com a linha isotérmica de adsorção, (33), num ambiente de 50% de umidade relativa do ar, a umidade do café corresponde a 6% aproximadamente e 65% de umidade relativa do ar correspondem a uma umidade de aproximadamente 8%. Com isto, ao ser armazenado ao ar livre, o teor de água do café aumentaria consideravelmente, sendo transposto o limite de tolerância estipulado por lei (máximo 6%). As propriedades de filtração seriam também prejudicadas, e as reações hidrolíticas de deterioração seriam favorecidas.

Disto se conclue que se torna necessária uma embalagem com suficiente impermeabilidade ao vapor de água (8, 10).

Adsorção de O_2:

Segundo Streuli (53) a adsorção de oxigênio em condições ideais começa em torno de 1,5 mℓ./kg.h, uma adsorção total de em

média 5-10 m mol/kg, é indesejável no caso do aroma.

Enquanto o aroma se conserva durante meses em ausência de água e oxigênio, em contato com o ar à temperatura ambiente já se nota uma leve perda do aroma decorridos 7 a 11 dias.

Normalmente após 3 a 6 semanas para café torrado ou 6 a 10 dias para café torrado e moído, já se nota um odor de envelhecimento (perda do odor característico do café), aparecimento de compostos aromáticos com odor de café velho, de tabaco ou até mesmo de ranço, frequentemente ligados a um sabor amargo.

A luz solar, especialmente a faixa do espectro correspondente ao comprimento de onda de ultravioleta, atua como catalizador da oxidação (24). Favel e Heidelbough (apud 30) mencionam que a luz, em comprimento de onda de 380 nm, acelera a oxidação de óleos e gorduras em aproximadamente 750 vezes, se comparada a ambientes protegidos de luz; a 577 nm esse fator é reduzido para um valor entre 10 e 15 vezes.

Pode-se avaliar o envelhecimento do café através de cromatografia de fase gasosa com coluna capilar, onde a relação 2 metilfuran/2-butana (índice M/B) aumenta com o envelhecimento e a relação 2-metilfuram/metanal (índice M/M) diminui (33).

No decurso do armazenamento de um café submetido à torração escura aparece um "suor" na superfície do grão no espaço de tempo variável de dias a semanas, mais rapidamente quanto maior o grau da torração. Trata-se de um fenômeno de migração dos óleos do café para superfície dos grãos, formando aí um filme oleoso e proporcionando ao grão uma aparência brilhante. Isto pode ser em parte desejável e em parte não, já que pode favorecer um aceleramento do processo de rancificação (33).

Deve-se sempre ter em mente que praticamente todo alimento perde qualidade durante o seu armazenamento. A diferença

está apenas na velocidade, com que as perdas ocorrem (24).

2.6.3. Moagem:

O processo de moagem de grãos do café torrado é um importante estágio na preparação da bebida do café. Fazer "infusão" de café em grão torrado é quase impossível, devido à sua superfície dura e fibrosa e também ao fato de que está coberto de uma camada de óleo, a qual evita um bom contato entre o café e água. Este contato é necessário para dissolver e extrair as substâncias solúveis, aromas, etc. (39).

No processo de moagem, o grão de café torrado é subdividido, por ação mecânica, em partículas bastante pequenas, para facilitar posteriormente a extração, com água quente, dos componentes aromáticos e sólidos solúveis.

2.6.3.1. Tipos de moinhos:

De acordo com a finalidade do café são usados diferentes moinhos. Para as moagens de granulometria fina os moinhos de disco são muito utilizados, embora outros tipos possam executar serviço semelhante. Os moinhos de disco são pequenos e de difícil regulagem e são os mais comuns no Brasil (41).

Os moinhos de rolos tem vantagem de fornecer um produto de textura mais uniforme. Isso é vantajoso para o processo de extração caseira. A distância entre os rolos que giram em sentidos opostos é regulável e deve ser ajustada às condições da matéria prima, da torração e do próprio sistema de extração (41).

2.6.3.2. Granulometria:

Em qualquer tipo de moagem tem-se uma mistura de partículas de tamanhos diferentes.

A subdivisão do grão do café torrado aumenta a superfície por unidade de peso, a qual está em proporção inversa ao diâmetro das partículas. (Quadro 2). Nos E.E.U.U. (1948) a indústria adotou um standard com três granulações, observar Quadro 3. No Brasil, para uso caseiro, é empregada granulometria fina 0,2-1 mm, mas por este mesmo uso nos EE.UU. a granulometria é grossa (0,5-2 mm) (41). Na Europa são empregadas duas granulometrias a fina e a grossa para uso caseiro. Especialmente na Alemanha, essas granulometrias são em média 0,55 mm. para fina e 1,65 mm para grossa (51).

Um fenômeno importante e que é uma consequência da granulometria e dos processos de manuseio é a segregação das partículas por tamanho. Para evitar este inconveniente o café moído é adicionado ao reservatório por meio de um distribuidor (41).

2.6.3.3. Avaliação da granulometria do café moído:

Uma grande variedade de designações para as malhas tem sido sugeridas para o estudo da distribuição granulomêtrica de partículas do café moído por tamanho (diâmetro), como as da "Tyler Sieve Serie", "Sistema Standard de U.S. Bureau of Standard", "The Institute of Mining and Metalurgy of England Series", AFNOR (Association Française de Normalisation) e da DIN (Deutsche Industrie Normen). De todas, a série "Tyler" e o "Sistema Standard de U. S. Bureau of Standard" (9) são as mais empregadas. Estes dois sistemas possuem uma numeração característica que corresponde a uma abertura em milímetros ou em polegadas. No Quadro 4 observam-se as medidas para as séries mais empregadas.

QUADRO 2. Tamanho das partículas, número de partículas por unidade de peso (52).

Espécie de partículas de café moído	Tamanho (mm)	Nº partículas/g	Incremento do nº de partículas/g	Razão do incremento	Área total (cm^2/g)
Grão inteiro	6,0	6	-	-	8
Grão quebrado (Crocked Bean)	3,0	48	42	1	16
Café solúvel (por percolação)	1,5	384	336	8	32
Regular	1,0	1296	912	22	48
Médio ("Drip")	0,75	3072	1776	42	64
Fino ("fine")	0,38	24572	21500	512	128

QUADRO 3. Granulações do café torrado e moído adotadas pelas indústrias dos Estados Unidos (52).

	Quantidade do café retido em:		Quantidade do café que passa pela peneira de controle.	Tolerância em quantidade de café que passa pela peneira de controle.	
	10-14 mesh*	20-28 mesh*	28 mesh*	28 mesh*	
				Não menos	Não mais
Regular	33	65	12	9	15
Médio	7	73	20	16	24
Fino	0	70	30	25	40

* Sistema Tyler

QUADRO 4. Séries de peneiras e diâmetro das malhas mais usadas para café torrado e moído.

Sistemas		Diâmetro das malhas (mm)
TYLER (mesh)	S.T.U.S. Bureau (Nº)	
10	12	1,7
14	16	1,18
20	20	0,84
28	30	0,59
35	40	0,42
42	45	0,35
48	50	0,297
60	60	0,208
100	100	0,147

Van Veen (55) descreve (Figura 4) os três principais aparelhos para avaliação granulométrica: o de movimento circular, o do movimento vibratório, e o de injeção de ar ("air-jet"). Os dois primeiros são parecidos: a peneiragem se faz em um tempo determinado em cinco peneiras, porém não é muito eficaz para finas porções de café moído. O de injeção de ar funciona com fluxo de ar e só tem uma peneira. O mesmo autor afirma que a limpeza das peneiras é muito melhor com fluxo de ar.

Com a finalidade de ter só um valor representativo da granulometria de uma moagem, Orr (36) desenvolveu o conceito de diâmetro médio ponderado das partículas (d.m.p.) como a soma dos pesos retidos em cada peneira multiplicadas por o correspondente diâmetro de cada peneira e divididas pelo peso total da mostra (Eq. 2):

$$d.m.p. = \frac{d_1P_1 + d_2P_2 + \ldots d_nP_n}{m} \quad \ldots(Eq.\ 2)$$

$d_1, d_2, \ldots d_n$ = diâmetro da malha de peneira

$P_1, P_2, \ldots P_n$ = fracção de peso retida em cada peneira (g)

m = peso da mostra (100 g)

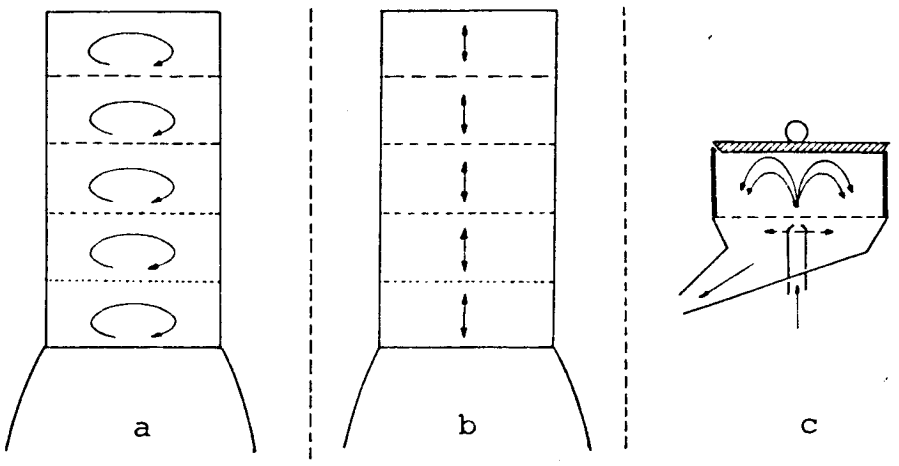


FIGURA 4. Esquema dos aparelhos empregados para a avaliação da granulometria do café moído. a) movimento circular; b) movimento vibratório; c) injeção de ar.

Heiss (24) criou o termo de diâmetro médio das partículas (dm) para cada peneira que se obtinha através de microscópio e definiu "momento" como o produto do "dm" pelo coeficiente de distribuição das peneiras (c), sendo este a massa de partículas retidas na peneira expressas em décimos de unidade. A soma dos momentos das peneiras é o que chamou de diâmetro médio ponderado(d.m.p.).

2.6.3.4. Liberação do gás carbônico

Aproximadamente a metade do gás carbônico produzido durante a torração é retida no interior dos grãos de café (41).

Na moagem, os grãos de café são rompidos e o CO_2 existente no interior das células são liberados nos pontos de quebra. Com isto, quanto mais fina a moagem, maior será a velocidade de liberação de CO_2 durante a moagem e tanto menor o tempo que o CO_2 remanescente levará para chegar à superfície, devido aos caminhos de difusão serem abreviados (8).

Na moagem fina se perde 50% de gás durante a moagem e mais 30% depois de 24 horas (33).

Se a moagem for feita em local com ventilação deficiente, a concentração desse gás pode atingir um nível perigoso para os operários (41).

2.6.4. Repouso do café torrado e moído

Antes de ser acondicionado nas embalagens, o café pode ser submetido a uma desgaseificação intermediária, por exemplo mediante armazenagem à pressão atmosférica, na medida do possível em ausência de oxigênio, (8), pois, caso contrário, ocorre a oxidação dos compostos aromáticos. Alguns autores afirmam que nesta etapa pode haver uma redução de até 20% na qualidade do café (2).

Pode-se também armazenar o produto sob menor pressão para diminuir os processos oxidativos. Neste caso a pressão deverá ser selecionada de maneira tal que seja evitada evaporação dos componentes aromáticos (8).

Em ambos os casos (processos normal e sub pressão) os tempos de armazenagem intermediária entre a moagem e a embalagem do café se situam, dependendo do grau de torrefação e de moagem, geralmente entre 0 e 8 horas; em casos extremos este tempo de armazenagem poderá ser de até 24 horas (8).

Este processo tem sentido apenas no caso do café moído, já que a desgaseificação do café em grão, levaria muito tempo, podendo ser de 4 a 5 dias (10, 37).

2.6.5. Problemas relacionados ao acondicionamento do café torrado e moído em embalagens

A embalagem tem como finalidade básica conter, prote-

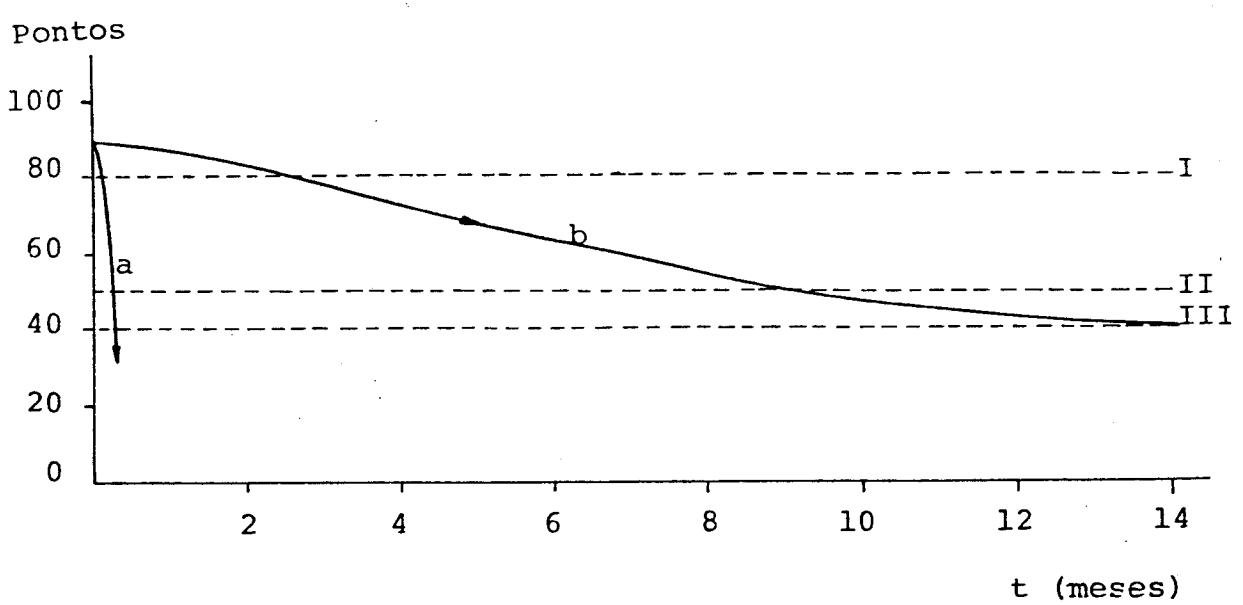
ger e vender o produto. No caso específico do café torrado, bem como do torrado e moído, cuja vida de prateleira depende de intensidade de sua exposição ao oxigênio e ao vapor de água, a função precípua da embalagem é evitar o contato do alimento com o ambiente externo (10).

A vida de prateleira pode ser definida como o período decorrido entre a produção e o consumo, durante o qual o alimento se mantém dentro de padrões aceitáveis de qualidade previamente estabelecidos (10). Porém, para a escolha de uma embalagem, é necessário que se conheçam as propriedades químicas, físicas e organolépticas do produto, as quais devem ser conservadas.

2.6.5.1. Considerações sobre o acondicionamento do café.

Oxigênio:

A oxidação de compostos aromáticos do café pela ação do oxigênio tem contribuido sobremaneira para a perda da qualidade do produto. O ar ambiente contém aproximadamente 21% (V/V) de oxigênio e esta concentração pode ser minimizada dentro da embalagem pelo uso de gases inertes, como gás carbônico e nitrogênio, ou mesmo pela produção de vácuo. Portanto, se originalmente, quando o café não está fechado, a pressão de O_2 está ao redor de 210m bar, ela pode ser reduzida a uma concentração de 10 m bar (1% de O_2). Para o grau de alteração é fundamental a quantidade de O_2 disponível ou mais exatamente a relação de concentração de O_2 com quantidade de café numa embalagem (49, 26). Nesse sentido, Heiss (25) afirma que o café acondicionado a 23ºC em contato com o ar ambiente ultrapassa a qualidade I após 4 dias e a qualidade III após 10 dias (Figura 5). De 0,5% até 1,0% do oxigênio os valores



I : Alta qualidade

II : Qualidade satisfatória

III : Limite de aceitabilidade

a : 21% de oxigênio (ambiente)

b : 0,5 - 1% de oxigênio

FIGURA 5. Perda da qualidade do café torrado e moído durante a comercialização à temperatura ambiente ($\pm$ 23ºC) (25)

correspondentes as qualidades I, e III são ultrapassados após 5 e 9-14 meses respectivamente. Por outro lado, o autor afirma que a embalagem não deve contar no seu interior, no momento do fechamento, mais do que 10-13 mg O_2/g de café. Porém, se a temperatura de comercialização do produto for superior a 33ºC, o tempo se reduz a 1/3 (26).

Liberação de CO_2:

Um café recentemente torrado apresenta 2% de gases, consistindo principalmente de dióxido de carbono (CO_2) e pequena quantidade de monóxido de carbono (CO) (54). O peso de um grão de café torrado é aproximadamente de 0,18 g, logo o peso do gás é de 3,6 mg o qual tem um volume de 1,8 cm^3, em condições normais de temperatura e pressão. Este volume é sete vezes o volume do café torrado. Assim o gás encontra-se pressurizado dentro do grão de café torrado até 14 atm O CO_2 encontra-se parcialmente absorvido (52).

Pintauro (37) afirma que a pressão do gás dentro das células do café torrado e moído depende do grau de torração e moagem, existindo alguma dependência com a espécie do café. Afirma que para café torrado forte e moído a pressão é de 5 atm, enquanto para uma torração fraca e moída é 1,5 atm (37).

O grão do café torrado retém mais o CO_2 que os grãos moídos, que possuem maior área superficial para a absorção de umidade e menor espessura para a difusão de CO_2 (52).

Absorção da umidade:

O café torrado é particularmente sensível à umidade, na medida que esta facilita a deterioração dos componentes aromáticos

que lhe são característicos (10).

O café em grão está mais protegido da absorção de umidade por ter uma menor superfície específica comparado com o café torrado e moído (52).

2.6.5.2. Características das embalagens para café torrado e torrado e moído:

a. O café torrado é comumente encontrado a nível de consumo interno em sacos de papel multifolhado, costurado na extremidade superior. A composição gasosa interna desse tipo de embalagem é similar à atmosférica (19).

b. Para café torrado e moído são empregados diversas embalagens:

Embalagem em atmosfera normal:

Esta embalagem não protege o produto por mais de 10 a 20 dias (16). Normalmente o sistema de embalagem é bastante simples, sendo a embalagem fabricada a partir de papel que apresenta alta permeabilidade a gases e ao vapor de água. A perda de aroma ocorre a velocidades significativamente altas.

A embalagem é constituída de duas camadas de papel sendo que na externa se faz a impressão e a interna atua como barreira à passagem de gordura. O fechamento do pacote é realizado por colagem. Nesse tipo de embalagem o café torrado e moído possue vida de prateleira reduzida (10).

Embalagens a vácuo:

A preservação da qualidade do produto é conseguida por meio da extração dos gases das embalagens prontas, porém ainda abertas. Após a remoção dos gases faz-se a termossoldagem do pacote. Neste caso, a qualidade do produto permanece inalterada por um período mínimo de 6 meses, dependendo do sistema empregado e da temperatura de estocagem (10, 16).

A rigidez da embalagem obtida pelo vácuo é considerada pelo consumidor como um índice de qualidade (17).

É importante considerar a liberação de CO_2 que pode vir a comprometer a eficiência do processo de vácuo: o gás carbônico liberado reduz ligeiramente o nível de vácuo, mas tem o efeito benéfico de manter uma composição, percentual relativamente rica deste gás (17). O vácuo mínimo recomendado para café torrado em grão é de 27 pol de Hg e para café torrado e moído no mínimo é de 28 pol. de Hg. (16). Heiss (26) recomenda o uso de embalagem para café a vácuo constituída de um laminado de 12μm de poliester, 12 μm lâmina de alumínio e 70μm de polietileno de baixa densidade. Essa embalagem deverá ser protegida por uma caixa de cartão contra danos mecânicos.

Embalagens a vácuo compensado:

Essas embalagens têm sido amplamente empregadas no Brasil e se caracterizam pela retirada do oxigênio através da ação combinada de vácuo e injeção de ga

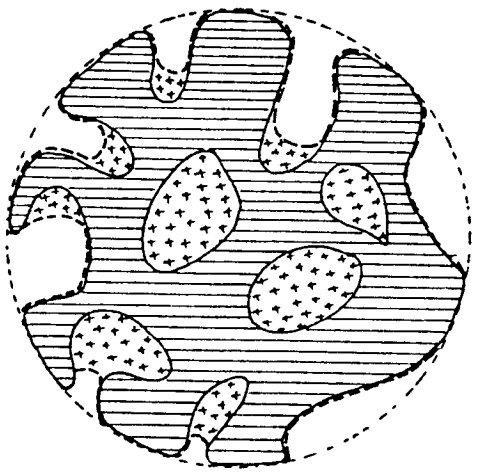
ses inertes. Compensam-se as pressões internas e externas originando-se daí a denominação atribuída ao processo (16).

Habitualmente o produtor embala o café antes que o dióxido de carbono (CO_2) seja totalmente liberado e perfura a embalagem para evitar que a mesma estufe. Esse tipo de embalagem permite que se atinja a composição atmosférica, passados alguns dias. Cabral et alli (10) analisou a composição gasosa de diversas marcas do mercado encontrando em todas elas a composição do ar atmosférico de 21% O_2 e 79% N_2.

2.7. ESTUDOS DA LIBERAÇÃO DE CO_2 EM CAFÉ TORRADO E MOÍDO

O café crú tem pequena porosidade a qual aumenta consideravelmente depois da torração, por acúmulo de CO_2 como foi evidenciado por Scharader (51). No processo de moagem, o grão do café torrado é fraccionado obtendo-se partículas menores e aumentando a superfície por unidade de peso, com o que aumenta a difusão de CO_2 .

Clo e Voilley (11) representou de forma esquemática uma partícula de café torrado e moído. (Fig. 6)



(---) Volume ou superfície exposta à água.

(---) Volume ou superfície externa.

(+++) Porosidade interna.

(≡) Parede celular.

FIGURA 6. Representação esquemática de uma partícula de café torrado e moído (11).

O CO_2 é formado dentro das células do café (porosidade) logo que torrado e difundido até as paredes celulares, formando uma pressão parcial de CO_2, e daí é difundido ao meio externo (18). Segundo Quast (44) este tipo de processo é denominado "difusão ativada", satisfazendo a segunda lei de Fick (Eq. 3).

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t} \qquad \ldots \text{(Eq. 3)}$$

em que:

D = Constante de difusidade (cm^2/s)

c = Concentração de CO_2 (moles/cm^3)

x = Espessura da parede celular (cm)

t = Tempo (s)

A concentração do CO_2 pode ser expressada em termos de pressão parcial do CO_2 e é relacionada pela lei de Henry (Eq. 4).

$$C = SP \quad ...(Eq.\ 4)$$

em que:

P = Pressão parcial do CO_2

S = Constante de Henry

C = Concentração de CO_2

A integração da Eq. 1, é complexa, depende das condições de trabalho e os valores tem que ser determinados experimentalmente.

Buchner e Heiss (9) estudaram a liberação de CO_2 em café torrado em grão num sistema controlado a uma temperatura de 20°C, e obtido a seguinte equação:

$$N = 0,887 \times 10^{-8}(2000-pCO_2)\ \ 1-(0,81^{-0,01196t} + 0,19e^{0,1559t} \quad ... \ (Eq.\ 5)$$

Em que:

N = Kmol

pCO_2 = pressão parcial de CO_2 (torr)

t = tempo em dias

O conteúdo total de CO_2 em café torrado em grão e moído foi determinado por Barbera (4) mediante o método do gás-volumétrico. Consistia em deslocar o gás de uma amostra de café para um balão, medindo a pressão com uma coluna de mercúrio. O volume era calculado mediante a aplicação da equação geral dos gases.

Radtke (46) desenhou um equipamento manométrico com o qual determinou a velocidade da liberação de CO_2 do café torrado e moído mediante medições manométricas, feitas periodicamente, e com

a equação geral dos gases determinou a quantidade de CO_2 (cm^3) liberado num tempo determinado. Para isto considerou o CO_2 como um gás perfeito. Com estes estudos conseguem-se resultados satisfatórios mas podem ser mais exatos se se trabalha em condições de baixas pressões (35).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Matéria prima:

O café foi fornecido pela Companhia "UNIÃO" dos Refinadores e Torrefadores de São Paulo.

Era constituído de café crú, café torrado forte (TF) e café torrado fraco ou claro (TC). O café foi acondicionado em embalagens impermeáveis (alumínio) e remetido ao laboratório, dentro das primeiras horas após a torração, a fim de evitar perdas significativas de CO_2*. As condições de torragem, tempo e temperatura foram anotadas na indústria que remeteu as amostras.

3.1.2. Equipamentos:

- Microscópio Eletrônico, modelo JEOL Ltda. J.S.M. -T20 TOKYO, sistema de varredura de elétrons secundários (SEI), metalizador Ion, Stiotton, Jeol Ltda.; fotografia câmara Mamiya, filme fotográfico Kodak, B.P. ASA 125, Tipo VP 120.

- Moinho experimental, trifásico, a discos, com capacidade de 10 Kg.

- Colorímetro Hunter Lab., modelo D.25 A-2 (Hunter Lab Associates, Inc. Fairfax, Va. EE.UU.)

- Estufa de secagem com vácuo, FANEM Ltd.

- Separador de partículas Tyler Rotop com 10 peneiras de 8, 10, 14, 16, 20, 28, 35, 48, 60 e 150 mesh.

(*) Quast, D.G. Comunicação pessoal.

- Duas câmaras isotérmicas de 22°C e 32°C com variação de $\pm$ 1°C.

- Aparelho de estudo da liberação de CO_2 do café torrado. O princípio de funcionamento baseia-se na medição de pressão por deslocamento da coluna do mercúrio, por efeito da liberação dos gases.

O aparelho foi construído em vidro muito resistente e de estrutura sólida (Figuras 7 e 7A). Consta das seguintes partes:

- balão de 1000 mℓ. com tampa esmerilhada (A)
- suporte de balão (B)
- válvula de vácuo (C)
- coluna de mercúrio com 3,1 mm. de diâmetro interno e 8mm. de diâmetro externo (D).
- suporte do equipamento em madeira (E).
- bomba de vácuo (F).

- Torrador "Lilla", nacional - Cap. 480 Kg. por batelada, descontínuo, cilindro horizontal rotativo com ar quente aquecido eletricamente.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Torração

Foi realizada no torrador industrial "Lilla" sob as condições expostas no Quadro 5.

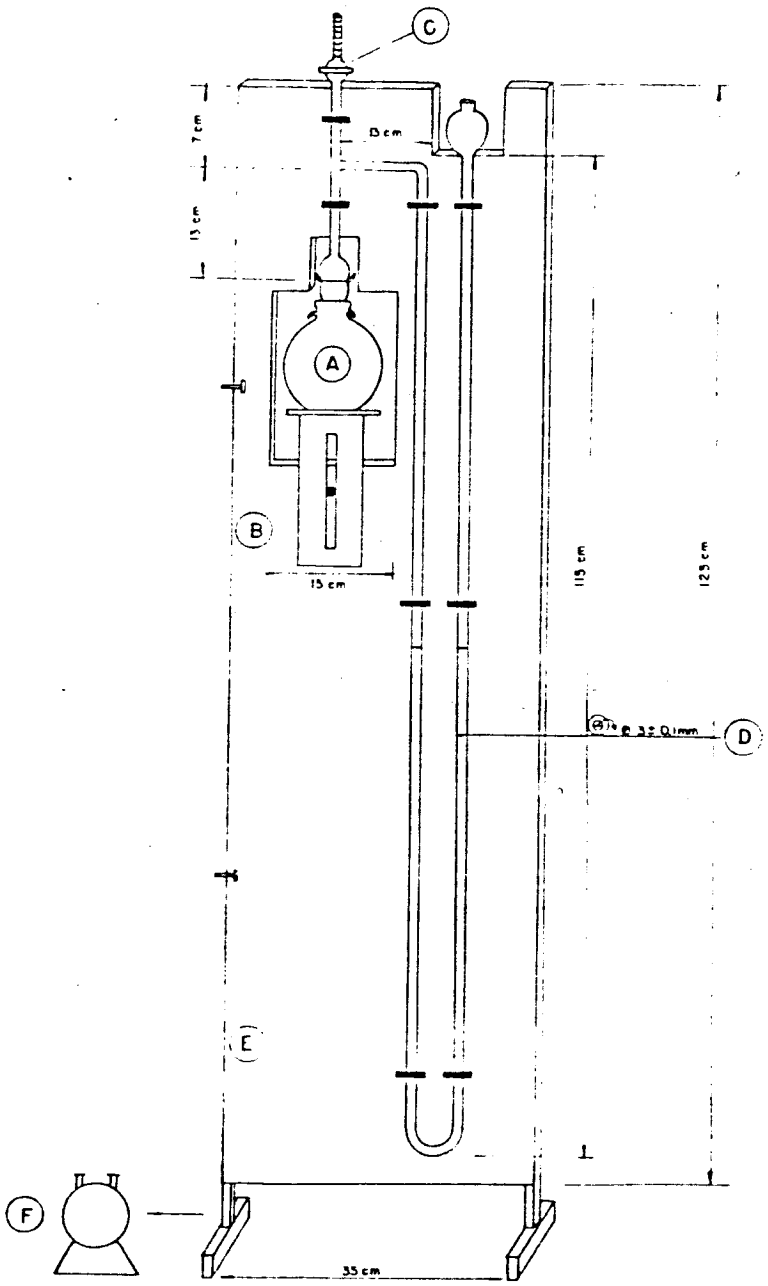


FIGURA 7. Desenho do aparelho de estudo da liberação de CO_2 do café torrado e moído

FIGURA 7A. Fotografia dos aparelhos de estudo de liberação de CO_2 do café torrafo e moído.

QUADRO 5. Temperatura e tempo da torração

Torração	Temperatura (ºC)	Tempo (min.)
Torração Fraca (TC)	200 - 210	18 ± 1
Torração Forte (TF)	200 - 210	21 ± 1

3.2.1.1. Umidade

Segundo o método recomendado por AOAC (Ref 7 nº 15.100-15011) (3).

3.2.1.2. Cor

Leitura da cor por meio do colorímetro Hunterlab D25-2A de 16 g. de café moído e retido nas peneiras 35 e 42 mesh e comprimidos uniformemente.

3.2.2. Moagem e granulometria

A moagem do café torrado se fez num moinho experimental onde se obtiveram três diferentes moagens (A, C, D)

A metodologia para analisar a granulometria é recomendada por Lockhart (32), a qual consiste em pesar 100 gramas do café e acondicionar em um separador de partículas denominado Tyler Rotop, por um tempo de 10 minutos em peneiras de 10, 14, 20 e 28 "mesh" ("Sistema Tyler").

Para o presente trabalho optou-se por aumentar o número de peneiras e o tempo de agitação. Para todas as moagens utilizou

-se um sistema de dez peneiras de 8, 10, 14, 16, 20, 28, 35, 42, 48, 60 e 150 "mesh" e um tempo de de agitação de 15 minutos.

O diâmetro médio ponderado (d.m.p.) das partículas do café moído foi obtido pela Eq. 2:

$$d.m.p. = \frac{d_1P_1 + d_2P_2 + \ldots d_nPn}{m}$$

d_1, d_2, ... d = diâmetro da malha da peneira (mm)

P_1, P_2, ... P = fracção de peso retida em cada peneira (g)

m = peso da amostra (100 g).

3.2.3. Estrutura do tecido do café torrado

Com a finalidade de se objetivarem mais os conceitos de porosidade, realizaram-se observações das estruturas do café torrado, mediante microscopia eletrônica.

O procedimento foi aquele descrito pela firma Jeol Ltd. (29). As seguintes modificações foram feitas por nós:

- não desidratamos as amostras
- usamos bisturi para os cortes nos tecidos.

As amostras foram metalizadas com ouro, a vácuo, com o metalizador descrito anteriormente, com os seguintes parâmetros: vácuo de 10^{-7} torr, 2,5 min., 1Kv e 12mA obtendo-se uma camada de ouro aproximadamente de 250A°, o que permitiu boa observação.

Uma vez metalizadas, as amostras foram analisadas com microscópio eletrônico de varredura. A faixa de ampliação selecionada foi de 70 x e 300 x. Fotografaram-se as imagens mais características com o filme enunciado anteriormente.

3.2.4. Determinação da porosidade

3.2.4.1. Volume do grão inteiro do café torrado (VGI)

O método foi baseado no que preconizam Schrader, R. U. (51): num balão volumétrico de 100 mℓ. colocavam-se 10 g de café e pesava-se este conjunto; depois adicionava-se água com tween-60 (0,2%) até atingir o volume de 100 mℓ, no balão, e imediatamente após, pesava-se o conjunto. A diferença entre os pesos dos dois conjuntos constitui o volume de água. Este volume subtraido do volume 100 mℓ dava o volume do grão inteiro.

3.2.4.2. Volume, sem a porosidade, de café torrado (VSP)

O método também foi baseado no que recomendou Schrader, R.U. (51). Num balão volumétrico de 100 mℓ colocavam-se 10 g de café torrado e moído muito finamente e pesava-se o conjunto. Depois adicionava-se água com tween-60 (0,2%) até metade do balão, aproximadamente. Ao fim de 48 horas completava-se o balão com a mesma solução até 100 mℓ. Pesava-se o conjunto novamente. A diferença entre os pesos dos dois conjuntos constitui o volume de água. Este volume subtraído do volume 100 mℓ dará aproximadamente o volume sem a porosidade, de café torrado.

3.2.4.3. Volume da porosidade do café torrado (VP)

Foi encontrado pela equação de Schrader, (51):

$$VP = VGI - VSP \quad \ldots (Eq.\ 6)$$

3.2.4.4. Coeficiente da porosidade (ξ)

Foi encontrada pela equação do mesmo autor (51):

$\xi = VP / VGI$ ...(Eq. 7)

3.2.5. Medição da liberação de gás carbônico

Moeu-se o café torrado nas granulometrias fixadas e, com movimentos do funil usado para encher o balão A (Figura 7), resfriava-se o café.

O aparelho era colocado em câmaras isotérmicas a $22 \pm 1^{o}C$, em uma série de pesquisas, e a $32 \pm 1^{o}C$ para outra série. Nessa altura (t_o), fazia-se o vácuo até 690mm. de mercúrio, aproximadamente, e media-se a altura de mercúrio na coluna (Δh_o). Depois anotavam-se os tempos (t_1, t_2, t_3,...) e faziam-se medições das colunas (Δh_1, Δh_2, Δh_3...);

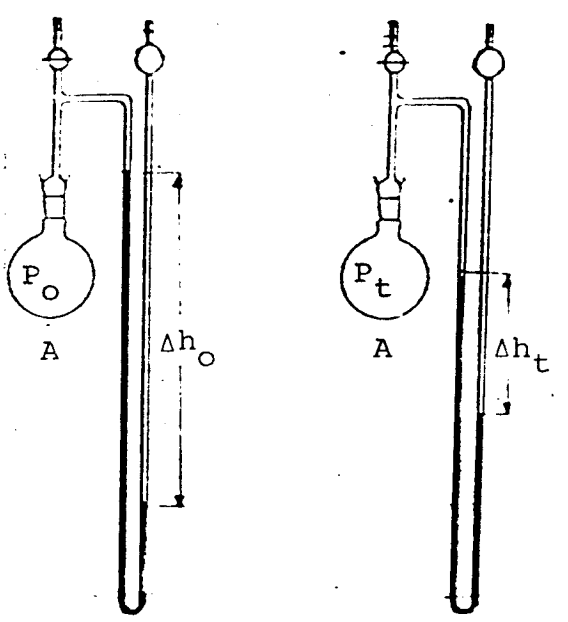


FIGURA 8. a) Pressão (P_o) no balão A do tempo t_o. b) Pressão (P_t) no tempo t_t.

A pressão (Po, Pt) dentro do balão A (Figura 8) é obtida ao fim dos tempos t_o, t_1, t_2, ... t_t, pela diferença entre a pressão atmosférica ambiental (b) e a altura da coluna dos tempos citados (Δh_o, Δh_1, Δh_2, ... Δh_t). Assim:

$$P_o = b - \Delta h_o \quad \ldots \quad \text{(Eq. 7a.)}$$

$$P_t = b - \Delta h_t \quad \ldots \quad \text{(Eq. 7b)}$$

etc. ...

O volume do CO_2 foi calculado pela seguinte equação (51):

$$V_{CO_2} = \frac{(VE - VA)\ (\Delta h_o - \Delta h_t)}{760} \quad \ldots \text{(Eq. 8)}$$

V_{CO_2} = Volume de CO_2 desenvolvido à pressão normal (Ncm^3CO_2).

VE = Volume do equipamento (mℓ)

VA = Volume da amostra (mℓ), feito como foi descrito em 3.2.2.4. (VSP ou VGI conforme era café moído ou em grão).

b = Pressão barométrica.

P_o, P_t = Pressão inicial e pressão após um tempo t, no balão.

$\Delta h_o - \Delta h_t$ = Diferença da altura da coluna no tempo zero e outro tempo (t_1, t_2, t_3 ... t_t).

Para o cálculo do volume (VE), considera-se o volume do balão A (feito experimentalmente) mais uma parte do capilar, que vai até o mercúrio (feito por calcúlos) (Figura 9) ver Anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

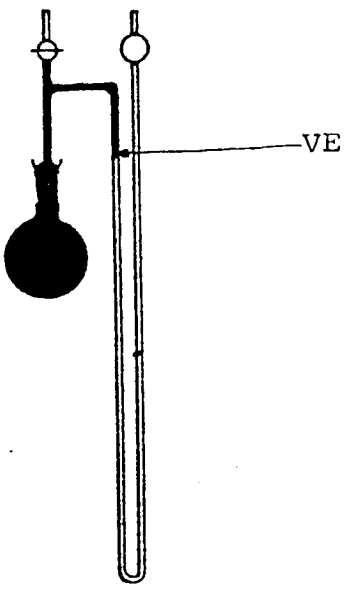


FIGURA 9. Volume do equipamento, VE.

Na equação anterior, também, o aumento do volume que provoca o deslocamento do mercúrio no capilar, não foi considerado, por ser mínimo comparado ao total do volume. O erro incorporado varia de 0,1 - 0,3%, pois 5 cm de comprimento de capilar tem volume aproximado de 0,35 cm^3.

O volume da amostra (VA) de café torrado e moído (moagens A, C, D) só considera parte sólida do café torrado (VSP); o volume da amostra do café torrado em grão considera o volume da parte sólida (VSP) e o volume da porosidade (VP). (51).

No nosso trabalho, para o cálculo do volume de CO_2, recorremos aos valores (referentes a 200 g de café) de $\Delta ho - \Delta ht$ das curvas das "Pressões de CO_2 obtidos de 200 g. de café com torração ...", (Figuras 12, 13, 14 e 15), convertemos esses valores para 100 g de café. Então os substituimos na Eq. 8.

As taxas de liberação do CO_2 são calculados pela equação:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{N_o - N_1}{t_1 - t_o} \quad \ldots(\text{Eq. 9})$$

em que:

N_o = número de cm^3 de CO_2 liberados em um tempo igual a t_o.

N_1 = número de cm^3 de CO_2 liberados em um tempo igual a t_1.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

4.1.1. Grau de torragem:

Os resultados obtidos para determinação da cor e umidade para as torragens TC e TF estão apresentados no Quadro 6.

Os valores médios da umidade obtidos para torração fraca (TC), na base úmida (bu) são 2,56 e de 2,07% para torração forte (TF), o que são valores inferiores aos fixados por legislação brasileira (6%). Isto deve-se as exigências técnicas dos moinhos.

Os valores de luminosidade (L,Hunter), de vermelho (a, Hunter) e amarelo (b,Hunter) foram superiores para a amostra TC do que para a TF, revelando ser a TC mais clara e mais cromática. Estes valores são de boa utilidade para diferenciar o grau de torração. Já Francis (21) verificou que a cor do café torrado pode-se usar como um parâmetro para estabelecer diferenças entre os graus de torração. Um fato complementar é a migração de óleos no café fortemente torrado que produz um brilho na superfície do café e que aumenta o brilho com o tempo de armazenamento e modifica em parte o valor L_H, como foi evidenciado pelo Maier (33).

4.1.2. Granulometria

As médias dos resultados obtidas pela análise granulométrica estão apresentadas no Quadro 7.

Para efeitos de uma comparação mais objetiva das moagens A, C e D, determinou-se o diâmetro médio ponderado (d.m.p.)co

QUADRO 6. Umidade e valores médios da cor de café torrado (TC,TF) de 12 amostras.

Grau de torração	Umidade (%) (b.u)	Cor L_H	a_H	b_H
Torração fraca (TC)	2,56	16,7	4,8	3,8
Torração forte (TF)	2,07	14,9	3,8	2,6

b.u = base úmida

L_H = luminosidade

a_H = vermelho

b_H = amarelo

QUADRO 7. Distribuição granulométrica das partículas nas moagens A, C e D (12 amostras)

Nº Peneira	Abertura das peneiras		Porcentagem de retenção %		
	mesh*	Ø (mm)	A	C	D
1	8	2,36	1	0	0
2	10	2,00	3,2	0	0
3	14	1,4	22,5	1,4	0
4	16	1,18	24,4	5,9	1,2
5	20	0,84	15,2	12,7	2,9
6	28	0,59	11,8	31,6	11,5
7	35	0,42	9,5	27,0	38,5
8	48	0,297	8,8	16,7	23,7
9	60	0,250	2,2	3,4	15,1
10	150	0,106	1,4	1,3	7,1

* Sistema Tyler

mo se vê no Quadro 8.

Para a moagem A, verifica-se um d.m.p. de 0,960 mm, estando suas partículas distribuidas entre as peneiras de 2,36 mm e 0,106 mm, tendo mais de 80% distribuidas entre 1,4 mm e 0,42 mm.

Para a moagem C, verifica-se um d.m.p. de 0,555 mm e suas partículas encontram-se distribuidas na faixa de 1,4 mm e 0,106 mm, tendo mais de 80% das partículas distribuidas entre 0,84 e 0,250 mm.

Para moagem D, a mais fina, verifica-se em d.m.p. de 0,383 mm, e as partículas encontram-se distribuidas na faixa de 1,18 e 0,106 mm, estando mais de 80% das partículas na faixa de 0,59 e 0,106 mm.

O d.m.p. está relacionado com o volume médio das partículas do café moído, as quais aumentam diretamente com o incremento do d.m.p.; em sentido inverso diminui a superfície específica.

4.1.3. Estrutura do café torrado

A porosidade do café torrado, foi visualizada através de observações feitas ao microscópio eletrônico sobre 12 amostras, das quais duas fotos de café com torração fraca foram selecionadas em ampliação de 70x e 300x. Estão apresentadas nas Figuras 10 e 11.

As observações feitas confirmaram os trabalhos realizados por Scharader (51) e Clo (11). Com um aumento de 70 x observa-se a porosidade dos tecidos formando cavernas (Figura 10, x).

Na Figura 11, com ampliação de 300 x, observam-se cavidades celulares ou poros onde se presume estar o CO_2 a alta pressão.

QUADRO 8. Diâmetro médio ponderado (d.m.p) das partículas do café torrado e moído com moagens A, C e D.

Peneiras d (mm)	Moagens A		C		D	
	P	d x P	P	d x P	P	d x P
2,36	1	2,36	0	0	0	0
2,0	3,2	6,40	0	0	0	0
1,4	22,5	31,50	1,4	1,96	0	0
1,18	24,4	28,79	5,9	6,96	1,2	1,42
0,84	15,2	12,77	12,7	10,67	2,9	2,44
0,59	11,8	6,96	31,6	18,64	11,5	6,78
0,42	9,5	3,99	27,0	11,34	38,5	16,17
0,297	8,8	2,61	16,7	4,96	23,7	7,04
0,250	2,2	0,55	3,4	0,85	15,1	3,77
0,106	1,4	0,15	1,3	0,14	7,1	0,75
Σ dxP		96,08		55,52		38,37
d.m.p.		0,960 mm.		0,555 mm.		0,383 mm.

d = diâmetro de abertura das peneiras (mm)

P = fração de peso da amostra retida (g)

m = peso total da amostra (100 g)

$$d.m.p. = \frac{\Sigma\ d\ x\ P}{m}$$

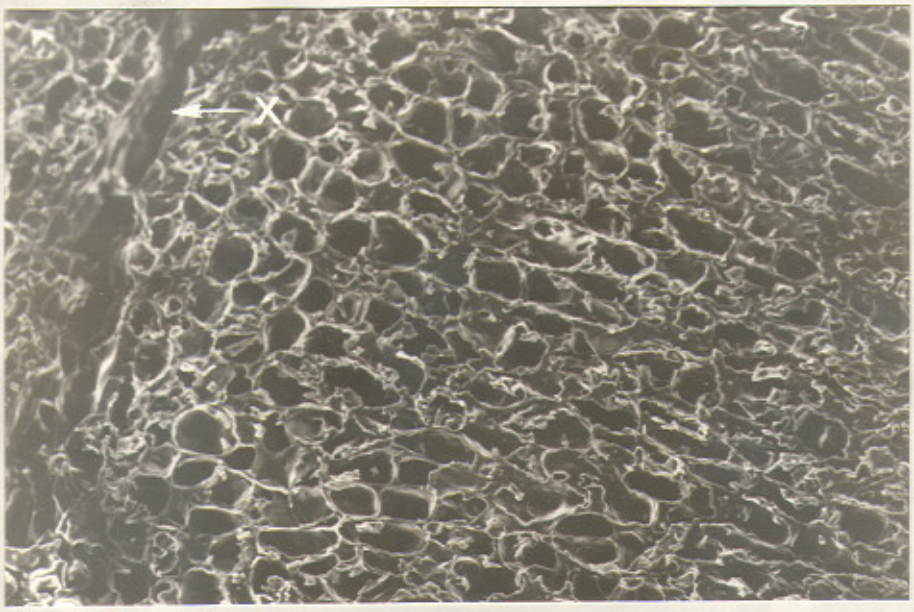


FIGURA 10. Corte transversal do café torrado (70 X).

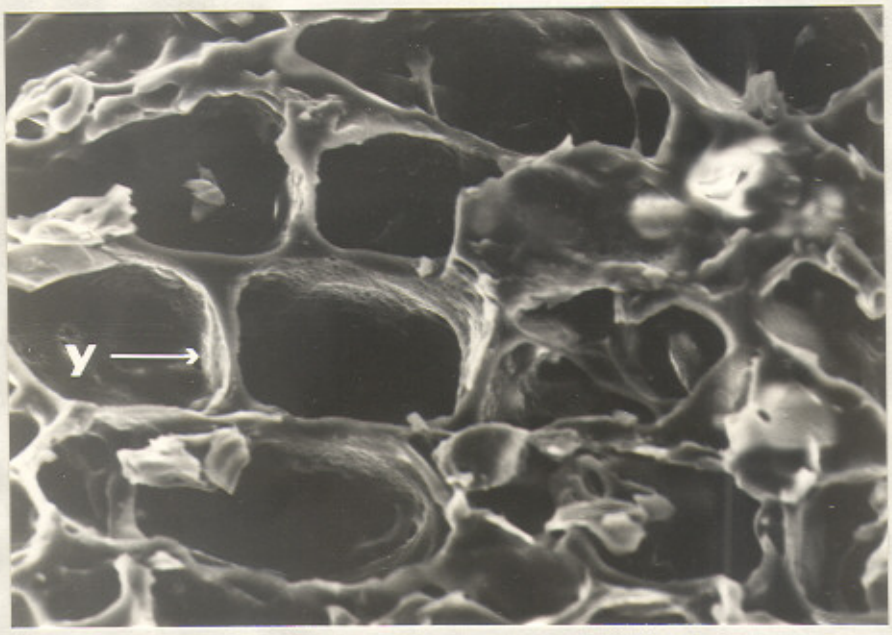


FIGURA 11. Corte transversal do café torrado (300 X).

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

as paredes celulares notam-se distendidas (Figura 11, Y).

Nas observações feitas não se verificaram diferenças importantes para as torrações TC e TF.

4.1.4. Volume do grão inteiro, volume sem porosidade do café torrado, volume da porosidade do café torrado e coeficiente da porosidade.

O volume ocupado por CO_2 no grão torrado foi determinado mediante medidas da porosidade e os resultados encontram-se no Quadro 9.

O café TC tem um menor VGI que o café TF. O maior VGI deve-se ao incremento da intensidade da torração que produz maior produção de CO_2 dentro das células.

Os valores de VSP para TC e TF são quase iguais, tendo só uma diferença de 0,06 mℓ

Os valores do coeficiente de porosidade (ξ) obtidos são de 0,63 para TF e de 0,61 para TC. A diferença dos valores deve-se ao grau de torração. Estes números são maiores que os obtidos por Scharader (51) (0,38 - 0,49). Esta diferença possivelmente deve-se a distintos graus de torração e à espécie do café.

4.1.5. Liberação do gás carbônico (CO_2)

4.1.5.1. Pressões

Nas Figuras 12, 13, 14 e 15 e Anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 observam-se as pressões do CO_2 liberado a temperaturas de armazenamento de 22^{+}_{-} 1°C e 32^{+}_{-} 1°C, do café com torração forte (TF) e café com torração fraca (TC), com moagens A,C e D e grão inteiro (I), para 200g. da amostra.

4.1.5.2. Volume de CO_2 liberado em café torrado

4.1.5.2.1. Café com torração fraca.

QUADRO 9. Porosidade de 10 g. de café torrado em grão (média de 6 amostras)

Grau de torração	VGI (mℓ)	VSP (mℓ)	VP (mℓ)	ξ
TC	20,07	7,76	13,31	0,61
TF	21,36	7,82	13,54	0,63

VGI = Volume do grão inteiro torrado.

VSP = Volume, sem a porosidade, de café torrado.

VP = Volume da porosidade do café torrado em grão (VP=VGI-VSP)

ξ = Coeficiente de porosidade do café em grão ($\xi = \frac{VP}{VGI}$).

TC = Torração fraca.

TF = Torração forte.

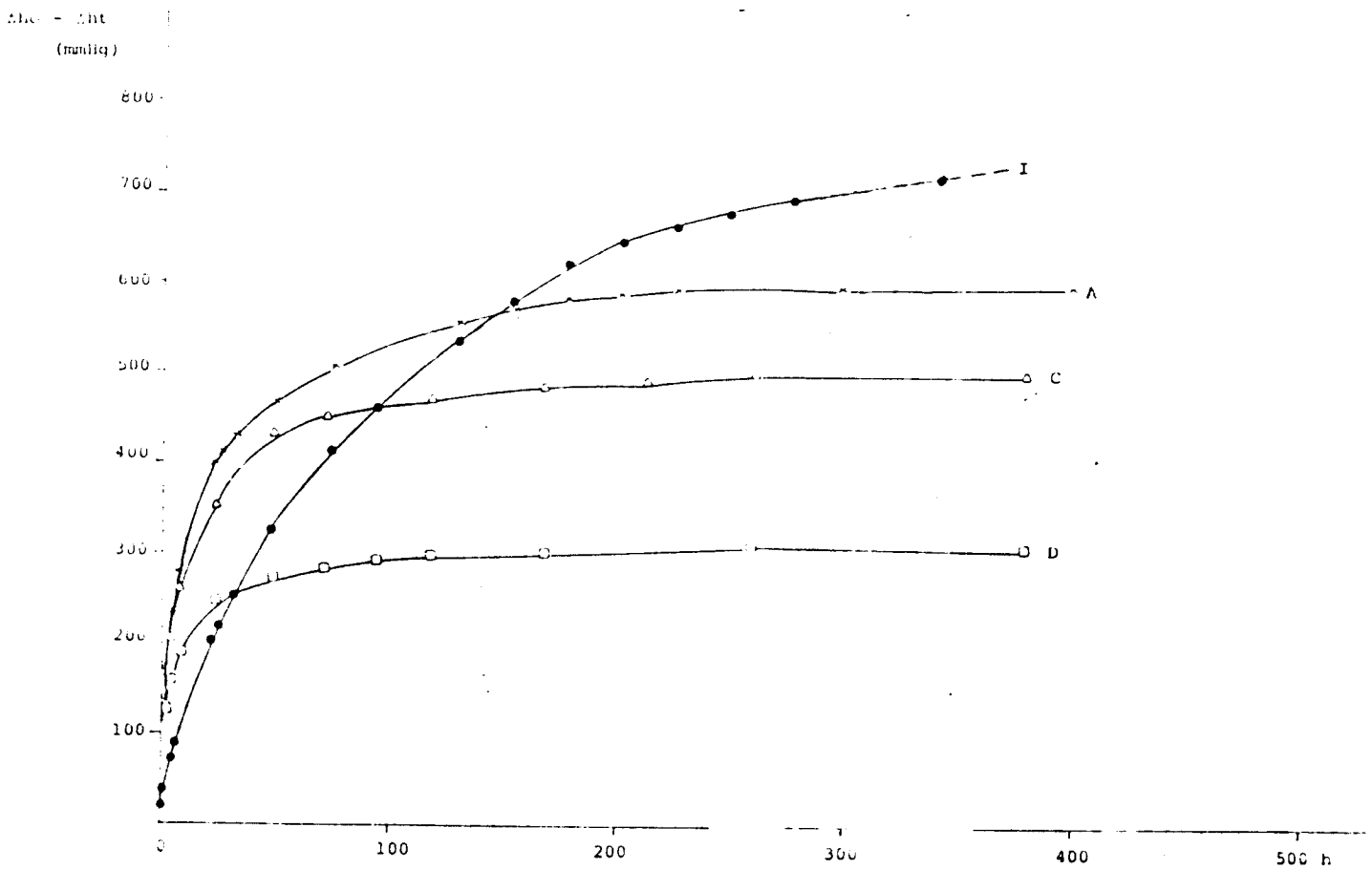


FIGURA 12. Pressões de CO_2 obtidas de 200 g de café com torração fraca (TC) em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D à temperatura de $22 \pm 1^{o}C$, em 8 amostras.

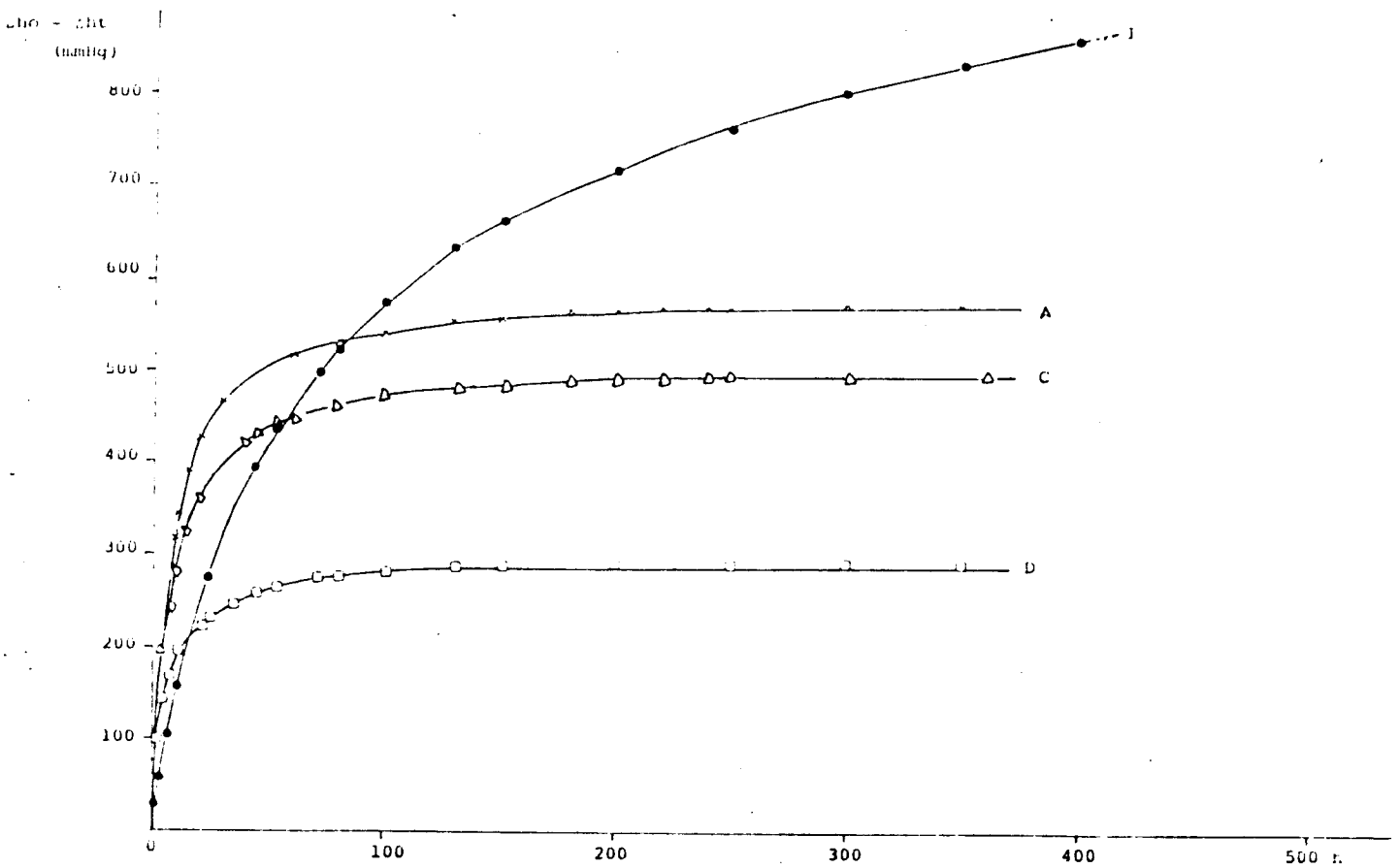


FIGURA 13. Pressões de CO_2 obtidas de 200g de café com torração fraca (TC) em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D à temperatura de 32 ± 1°C, em 8 amostras.

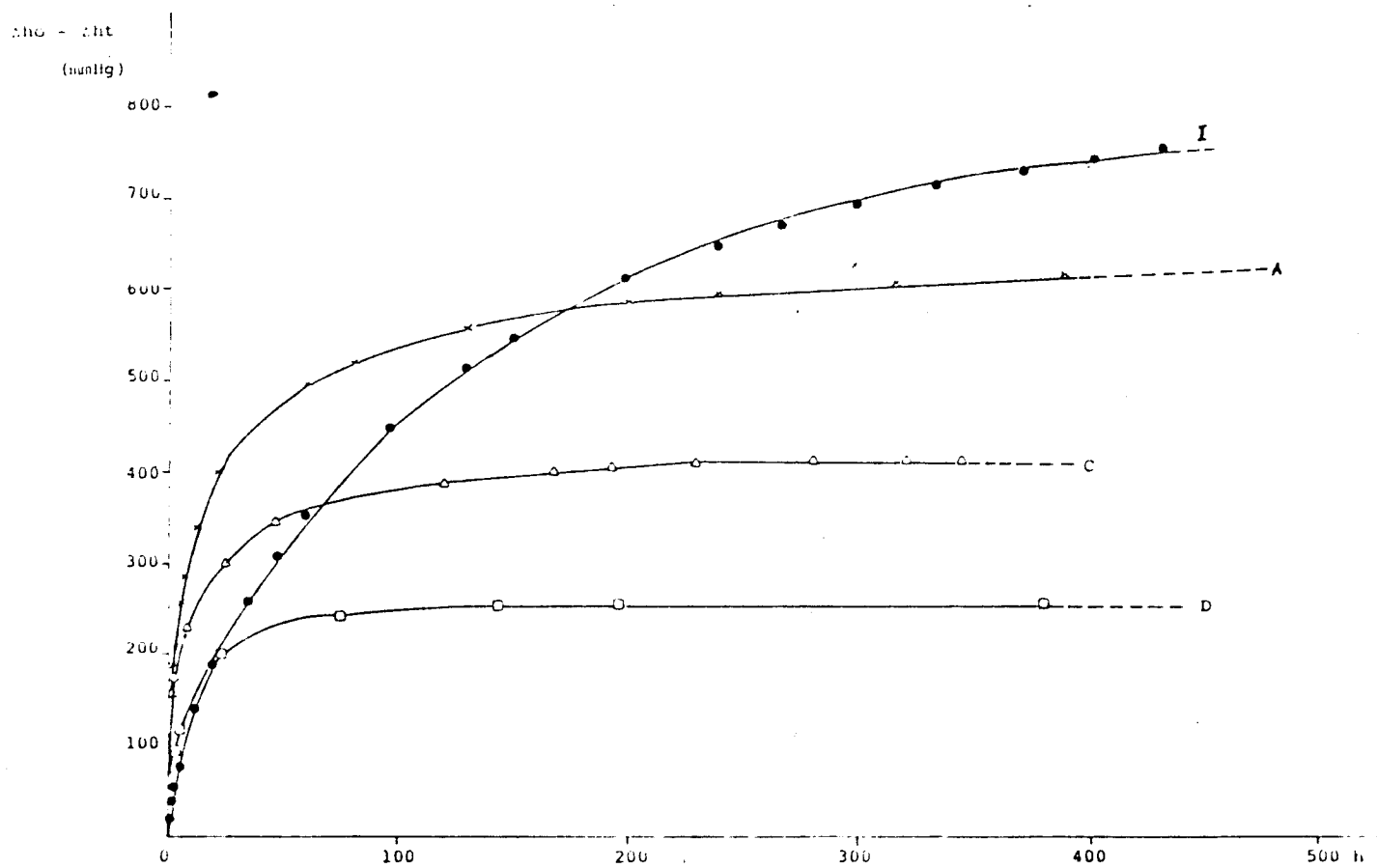


FIGURA 14. Pressões de CO_2 obtidas de 200g de café com torração forte (TF) em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D à temperatura de $22 \pm 1^{o}C$, em 8 amostras.

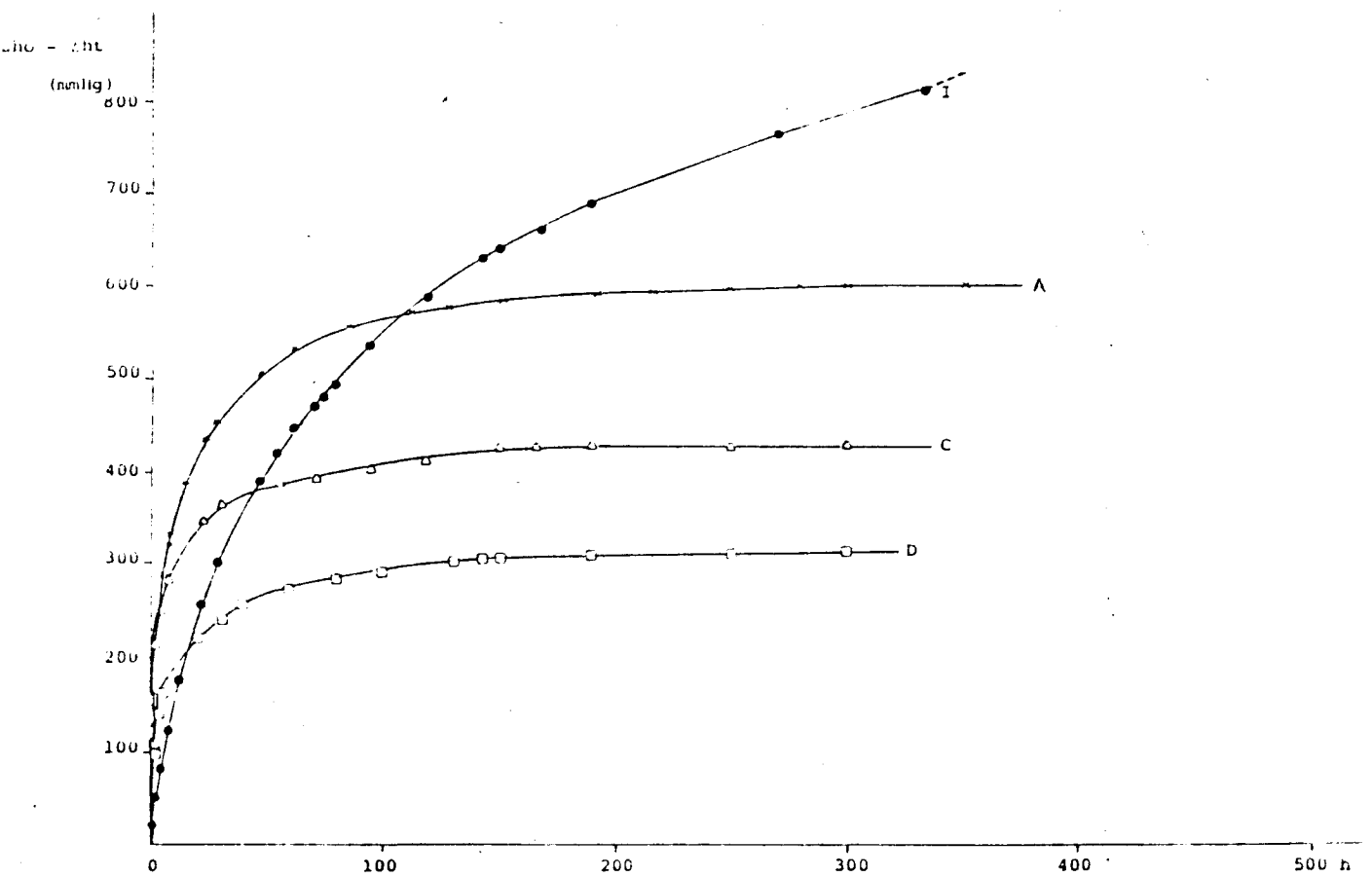


FIGURA 15. Pressões de CO_2 obtidas de 200g de café com torração forte (TF) em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D à temperatura de $32 \pm 1^{o}C$, em 8 amostras.

Na Figura 16 e Anexo 9 (ver final do item 3.2.5) apresentam-se as curvas do volume de CO_2 liberado à temperatura de armazenamento de 22± 1°C. Verificou-se, para a moagem D, uma liberação de 192,6 Ncm^3CO_2, às 250 h.; para a moagem C, 314,1 Ncm^3CO_2, as 300 h. e para a moagem A, 372,7 Ncm^3CO_2 em 300 h. O café em grão, depois de 300 h., só libera 325,8 Ncm^3CO_2; mais gás seria liberado depois de um longo período, como Maier (33) verificou (o café torrado em grão libera completamente seu conteúdo de CO_2 depois de mais de 2.000 h.).

Barbera (4) determinou, para a torração fraca, 450 Ncm^3CO_2 em 100 g. de café em grão, na mesma espécie do café que nós usamos. De acordo com este dado experimental de Barbera, depois da moagem a nossa amostra A ficaria com 82,82% de CO_2 do total daquele que tinha o grão, a amostra C ficaria com 69,8% e a amostra D ficaria com 42,8%, logo após a moagem.

Na Figura 17 e Anexo 10, apresentam-se as curvas de liberação de CO_2 a uma temperatura de armazenamento de 32± 1°C. Para estas condições verificou-se para a moagem D uma liberação de 181,5 Ncm^3CO_2 depois de 200 h.; para a moagem C 313 Ncm^3CO_2 depois de 300 h. e para a moagem A 361,2 Ncm^3CO_2 depois de 350 h.; para o café torrado em grão 348,6 Ncm^3CO_2, depois de 350 h.

Não existem dados experimentais sobre a quantidade de CO_2 liberado do café torrado em grão armazenado a esta temperatura, após 400 h., mas provavelmente devem ser as mesmas calculadas para 22± 1°C.

4.1.5.2.2. Café com torração forte

Para uma temperatura de 22± 1°C de armazenamento verificou-se (Figura 18 e Anexo 11) para a moagem D, uma liberação de

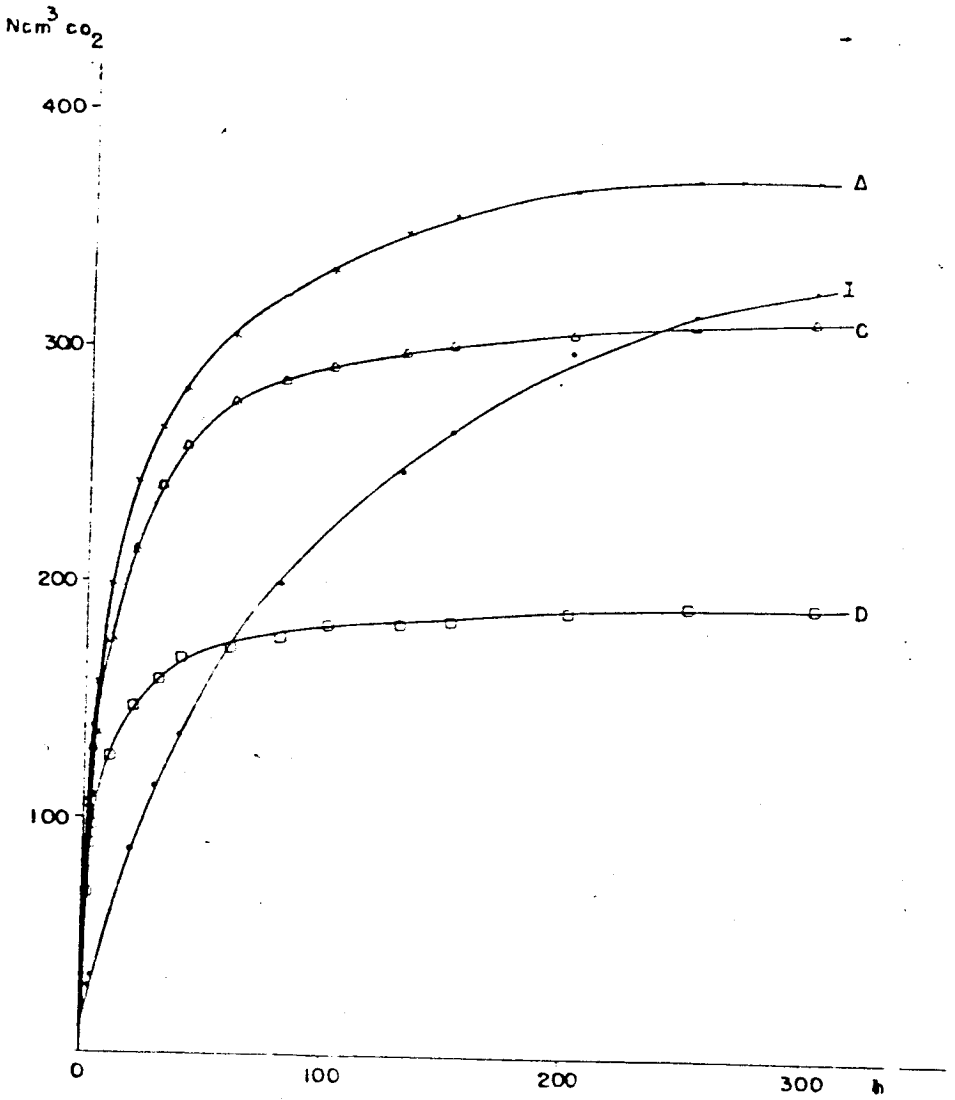


FIGURA 16. Volume de CO_2 liberado de 100g de café com torração fraca (TC) à temperatura de 22 ± 1°C e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D.

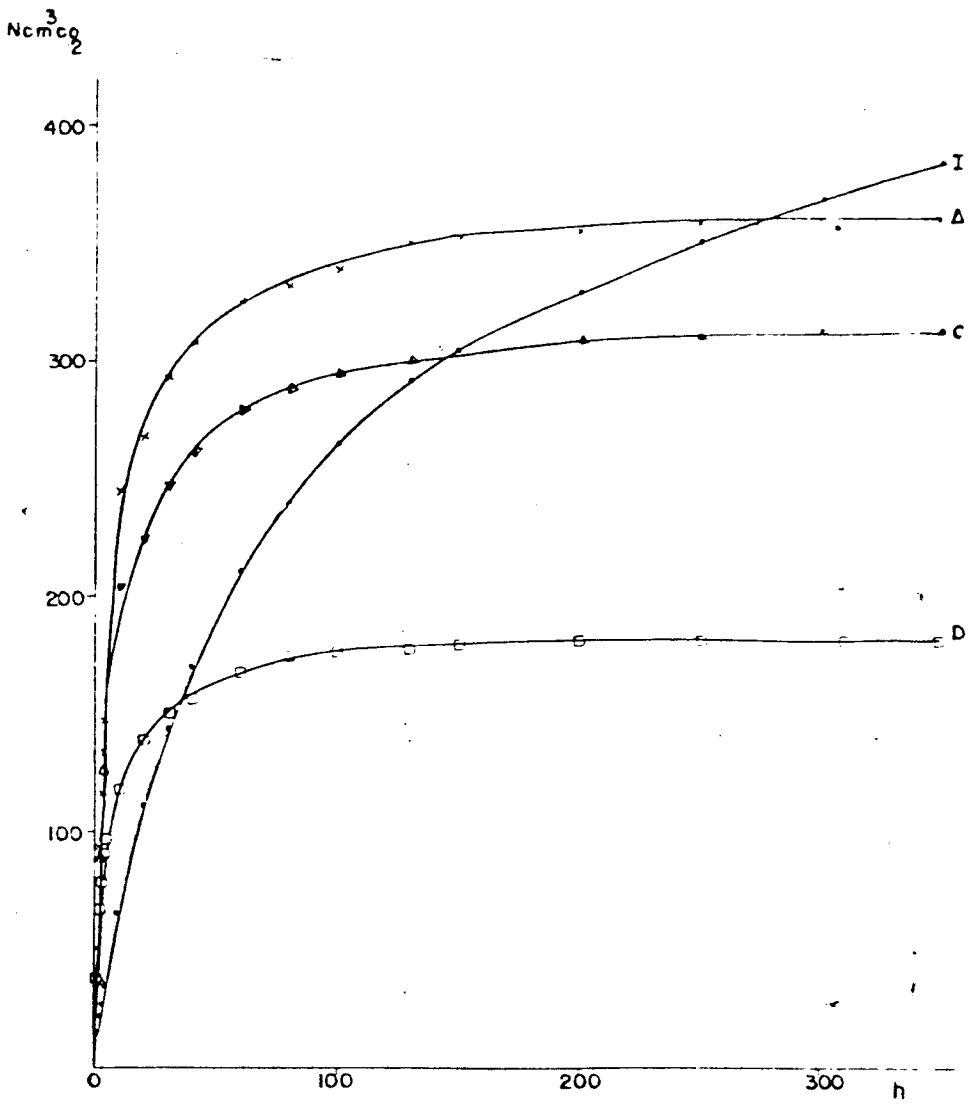


FIGURA 17. Volume de CO_2 liberado de 100g de café com torração fraca (TC) à temperatura de $32 \pm 1°C$ e à pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D.

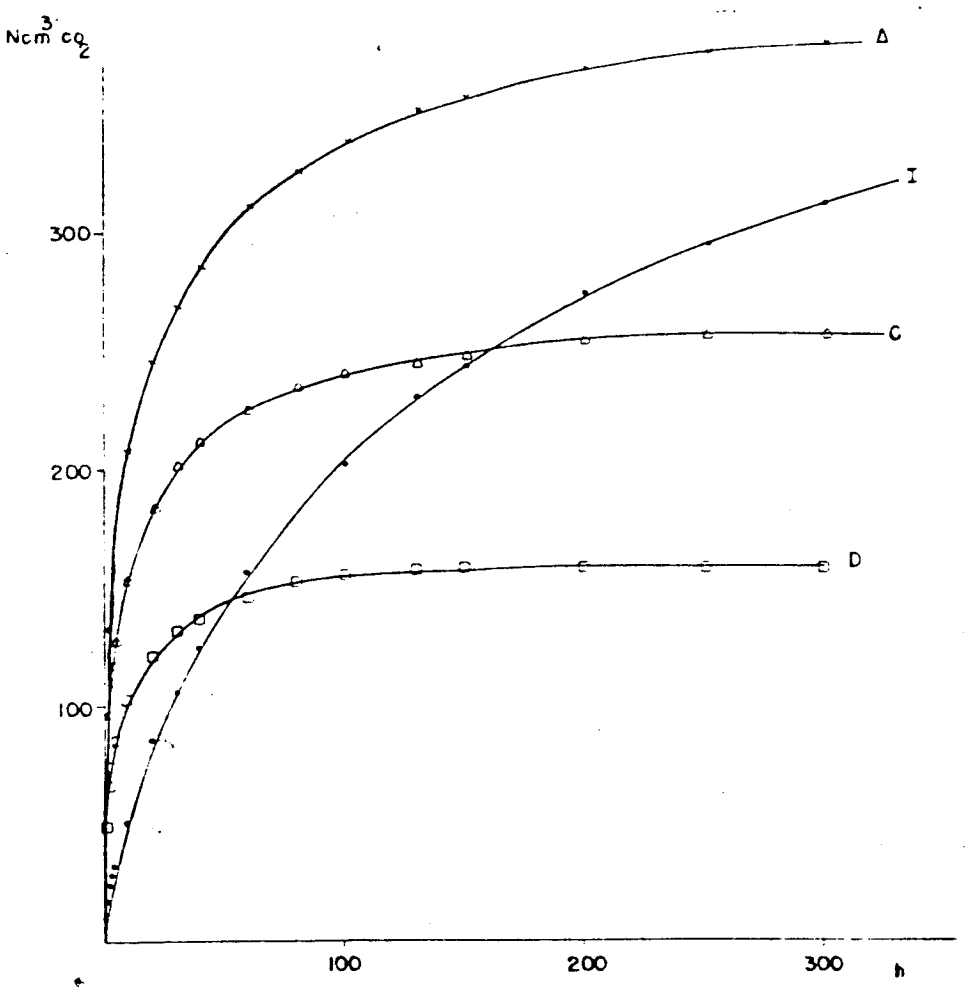


FIGURA 18. Volume de CO_2 liberado de 100g de café com torração forte (TF) à temperatura de 22 ± 1°C e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D.

158,2 Ncm^3CO_2 depois de 150 h.; para a moagem C, 257,2 Ncm^3CO_2 depois de 250 h e para a moagem D 379,5 Ncm^3CO_2 depois de 300 h., para o café torrado em grão 310,6 Ncm^3CO_2 depois de 300 h. Barbera (4), determinou um conteúdo total de 500 Ncm^3CO_2, para café em grão nas mesmas condições. Segundo o dado obtido por Barbera (4) pode-se admitir, como se fez em 4.1.5.2.1 que o café torrado inteiro depois da moagem, ficou com uma porcentagem de CO_2 menor quando a moagem é mais fina; assim a moagem A ficaria com 75,9% do total de CO_2 presente no café depois de torrado, a moagem C com 51,4% e a moagem D com 31,64%, estes dados estão organizados no Quadro 10.

No caso do café armazenado a temperatura de 32 ± 1°C verificou-se (Figura 19) para a moagem D, uma liberação de 193,2 Ncm^3CO_2 depois de 200 h, para a moagem C 269,8 Ncm^3CO_2 depois de 200 h., e para a moagem A 376,4 Ncm^3CO_2 depois de 300 h.

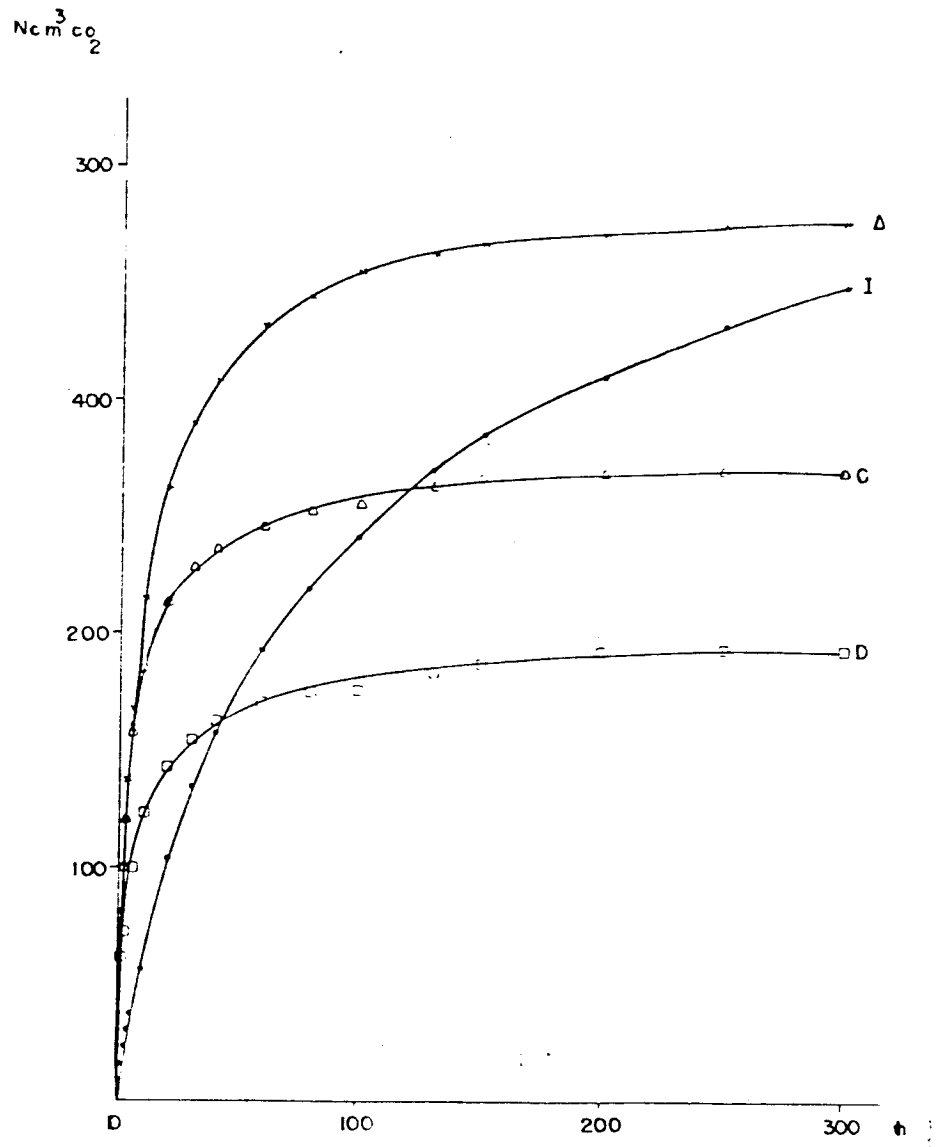


FIGURA 19. Volume de CO_2 liberado de 100g de café com torração forte (TF) à temperatura de 32 ± 1°C e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens A, C e D.

5. DISCUSSÃO

No Quadro 10 apresentam-se dados de CO_2 retidos em café moído logo depois da moagem, obtidos por comparação (descrita no item 4.1.5.2.1 e 4.1.5.2.2) com os dados de Barbera (4).

Verifica-se no Quadro que para um mesmo grau de torração, a porcentagem de CO_2 retido é maior com o aumento do diâmetro médio ponderado (d.m.p.) e que é menor no café que teve torração forte. Assim, o café moído com TF e com d.m.p. de 0,96 mm retém 75,9% de CO_2 daquele presente no grão inteiro; com d.m.p. de 0,56 mm, retém 51,4% e com d.m.p. de 0,38 mm retém 31,6%.

Os valores de retenção para café com TC, para os mesmos d.m.p. são de 82,8%, 69,8% e 42,8%. A Figura 20 mostra esses dados em gráfico.

A projeção das curvas mostra que sempre existirá um residual de CO_2 em pó fino do café e que Barbera (4) verificou que é entre 5% e 10%.

Como no Brasil as moagens mais utilizadas são as mais finas, analisou-se apenas aquelas referentes as granulometrias C e D.

Também se conclui que se nós quisermos empacotar café moído em embalagem hermética, o gás residual que se liberará na embalagem será menor com uma moagem mais fina, como vê-se no Quadro 10.

A velocidade com que é liberado o CO_2 durante o repouso vê-se nas Figuras 21, 22, 23 e 24.

Porém interessa precisar a que tempo após a moagem de determinada granulometria conviria embalar o café.

A análise das Figuras 16, 17, 18 e 19 nos dão idéia da solução, mas melhor se verá pelas Figuras 21, 22, 23 e 24 e Anexos 13, 14, 15 e 16 (ambos feitos a partir dos Anexos 9, 10, 11 e 12). Pode-se verificar taxas altas de liberação de CO_2 nas primeiras

10 horas depois da moagem, para logo diminuirem mais entre 10 e 30 h. (quando se liberou entre 70-80% do conteúdo de CO_2). Após este tempo, as taxas são muito pequenas e o gás residual será liberado até às 200 - 300 horas, dependendo do grau de torração, moagem e temperatura de armazenamento.

Para a moagem C observa-se que há maiores taxas de liberação que para a moagem D, para um mesmo período de tempo de liberação. O grão de café torrado tem taxas superiores as moagens C e D, depois de 30 horas.

Da análise das Figuras 21, 22, 23 e 24 pode-se generalizar que o empacotamento deve-se fazer após as 30 primeiras horas da liberação de CO_2 pois após este tempo, as taxas de liberação são muito pequenas.

Pela análise das figuras também se vê que quanto mais fina a moagem mais rápida a liberação do CO_2.

Para saber quais foram as porcentagens de gás liberado dentro das citadas 30 h, apoiados nas Figuras 13, 14, 15 e 16, por simples cálculos matemáticos, construímos novas figuras (Figuras 25, 26, 27, 28, 29 e 30).

Para uma temperatura constante de $22 \pm 1^{o}C$, verificou-se para torração fraca (Figura 25) maior porcentagem de liberação de CO_2 para moagens mais finas, na faixa entre 2-30 h. Para torração forte verifica-se o mesmo fenômeno (Figura 26) não havendo diferenças entre torrações. Nesta faixa de tempo pode verificar-se que o grau de moagem é um fator muito importante a considerar no acondicionamento e embalagem de café torrado e moído.

QUADRO 10. Porcentagem de CO_2 residual em café após moagem (CO_2 em café torrado inteiro = 100%)*

Grau de torração	Grau de moagem		
	A (d.m.p=0,96mm)	C (d.m.p=0,56mm)	D (d.m.p=0,38mm)
Fraca (TC)	82,8	69,8	42,8
Forte (TF)	75,9	51,4	31,6

* baseada em dados de Barbera (4)

d.m.p. = diâmetro médio ponderado das partículas do café moído.

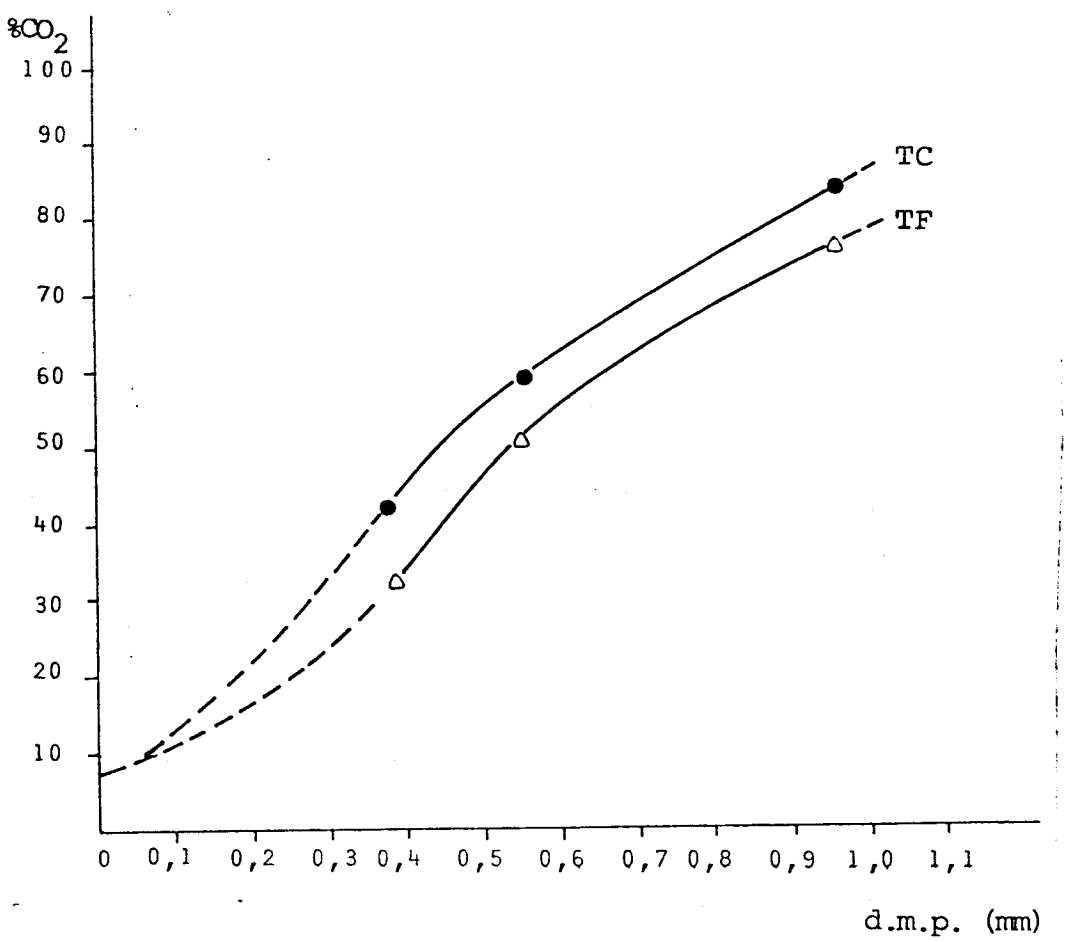


FIGURA 20. Porcentagem (após a moagem) do CO_2 residual do café moído com torração forte (TF) e torração fraca (TC) para diferentes diâmetros médios ponderados (d.m.p.) (CO_2 em café torrado inteiro = 100%).

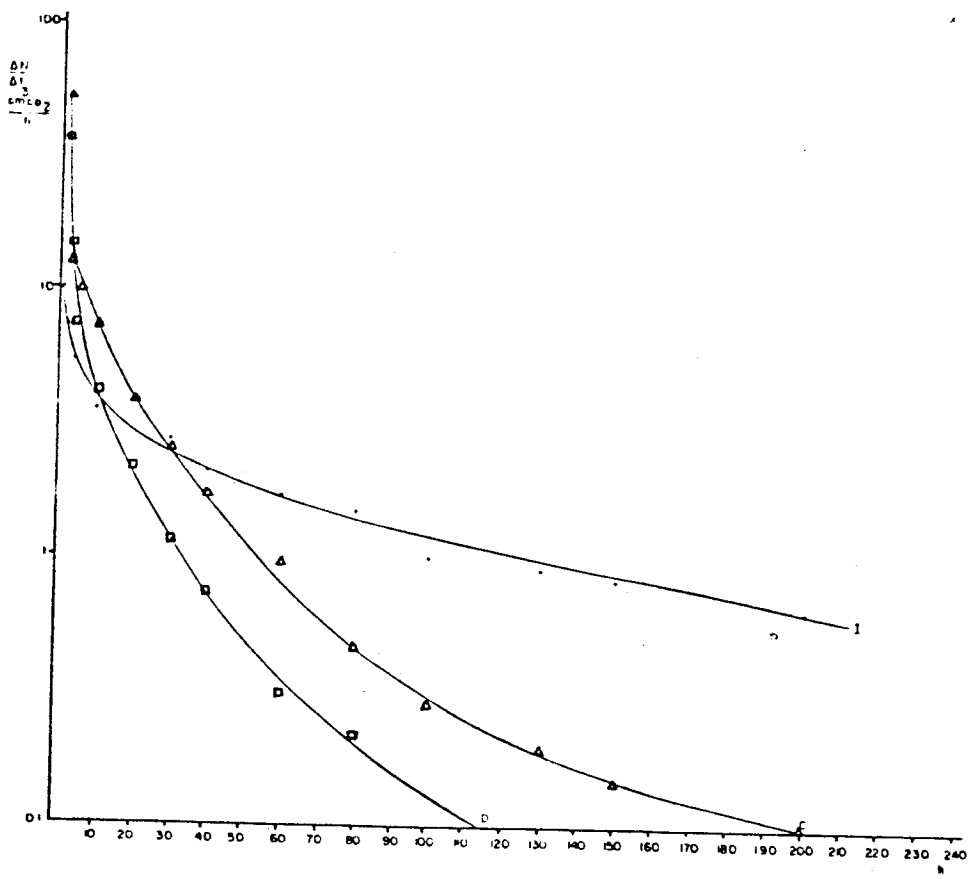


FIGURA 21. Taxas da liberação de CO_2 pelo tempo, de 100g de café com torração fraca (TC) à temperatura de $22 \pm 1^{o}C$ e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens C e D, em 100.

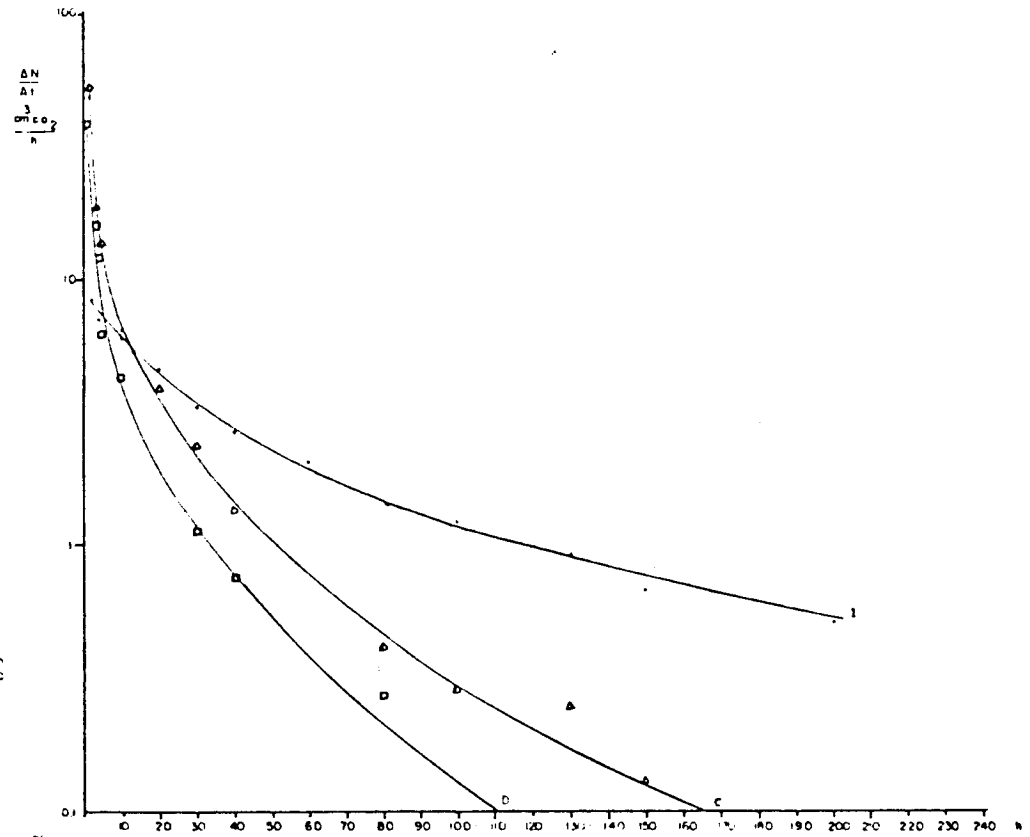


FIGURA 22. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, de 100g de café com torração fraca (TC) à temperatura de $32 \pm 1^{o}C$ e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens C e D.

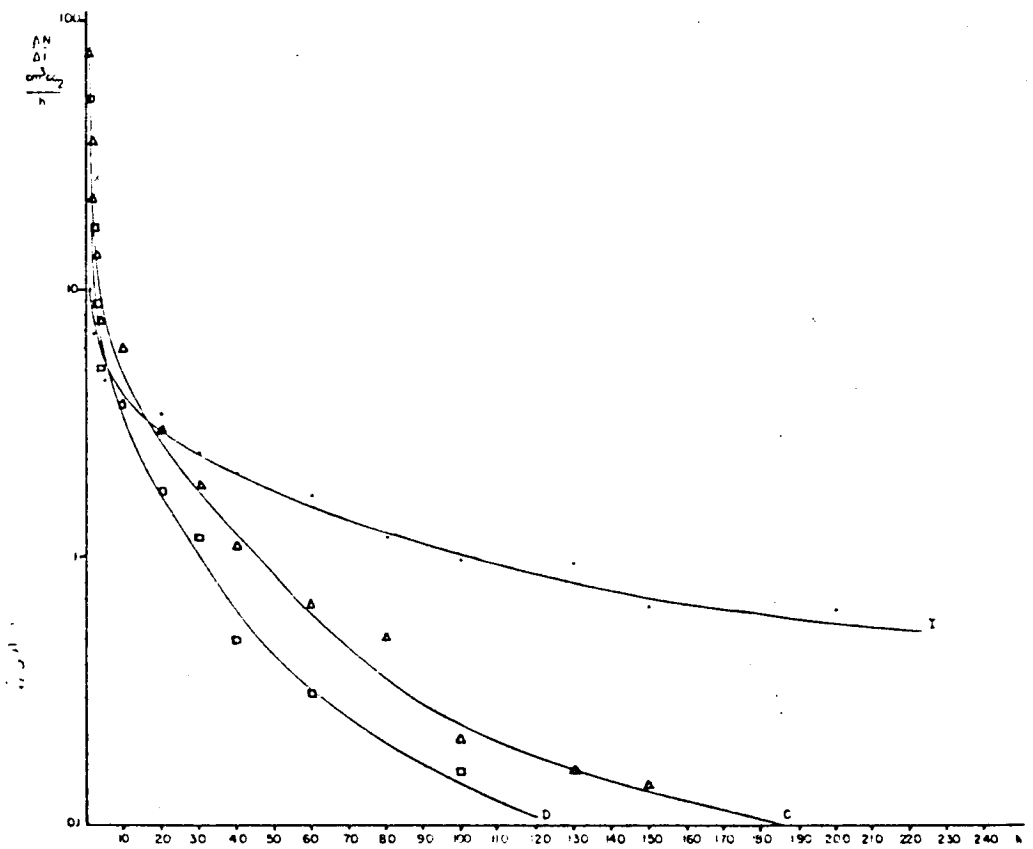


FIGURA 23. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, de 100g de café com torração forte (TF) à temperatura de 22± 1°C e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens C e D.

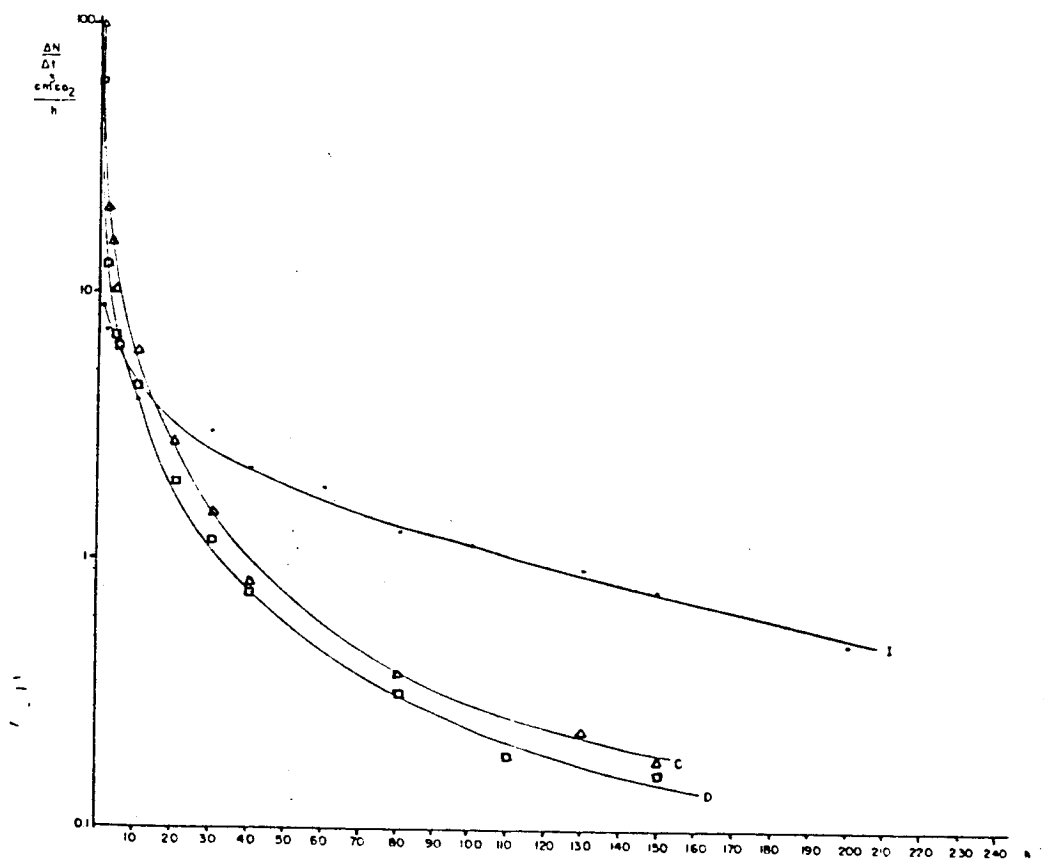


FIGURA 24. Taxas de liberação de CO_2 pelo tempo, de 100g de café com torração forte (TF) à temperatura de $32 \pm 1^{o}C$ e pressão normal, em grão inteiro (I) e com moagens C e D.

Considerando a moagem A, de café com torração fraca (Figura 27), à temperatura de repouso de 22± 1°C há, 29,9% de liberação de CO_2 às 2 h enquanto que a 32± 1°C há 26,1% liberado, o que corresponde a uma diferença de 3%; depois de 10 h há uma diferença de 14% e as 30 h só 10%. Isto significa que a liberação de CO_2 a duas diferentes temperaturas de repouso seguem curvas diferentes. Há que observar-se que o que se modifica é a velocidade de liberação do CO_2 e não a quantidade final do gás liberado.

Com moagem D as porcentagens liberadas de CO_2 são quase iguais para as duas temperaturas, (Figura 28) havendo só uma pequena diferença no início.

Considerando a moagem A, de café com torração forte (Figura 29), a temperatura de repouso de 22± 1°C, há 30,1% de liberação de CO_2 as 2 h , enquanto que a 32± 1°C há 30,6% o que corresponde a uma diferença de 0,5%; depois de 10 h há uma diferença de 2% e as 30 h 6%. Com moagem D as porcentagens liberadas são quase iguais para as duas temperaturas, como vemos ocorrer para torração fraca.

Pode-se verificar (Figuras 27 e 29) para uma moagem grossa ou A, que quando o café é submetido a temperatura de repouso de 32± 1°C há uma liberação bem maior de CO_2 que a temperatura de 22± 1°C. Porém isso não ocorre com as partículas pequenas, (Figuras 28 e 30), provavelmente por haver uma maior quantidade de CO_2 retida nas partículas com moagem grossa logo após a moagem.

Então, para partículas pequenas, o uso da temperatura de 32± 1°C não traz vantagem sobre a temperatura de 22± 1°C na liberação de CO_2 e esse uso daquela temperatura só trará o inconveniente de aumentar as reações de oxidação do café

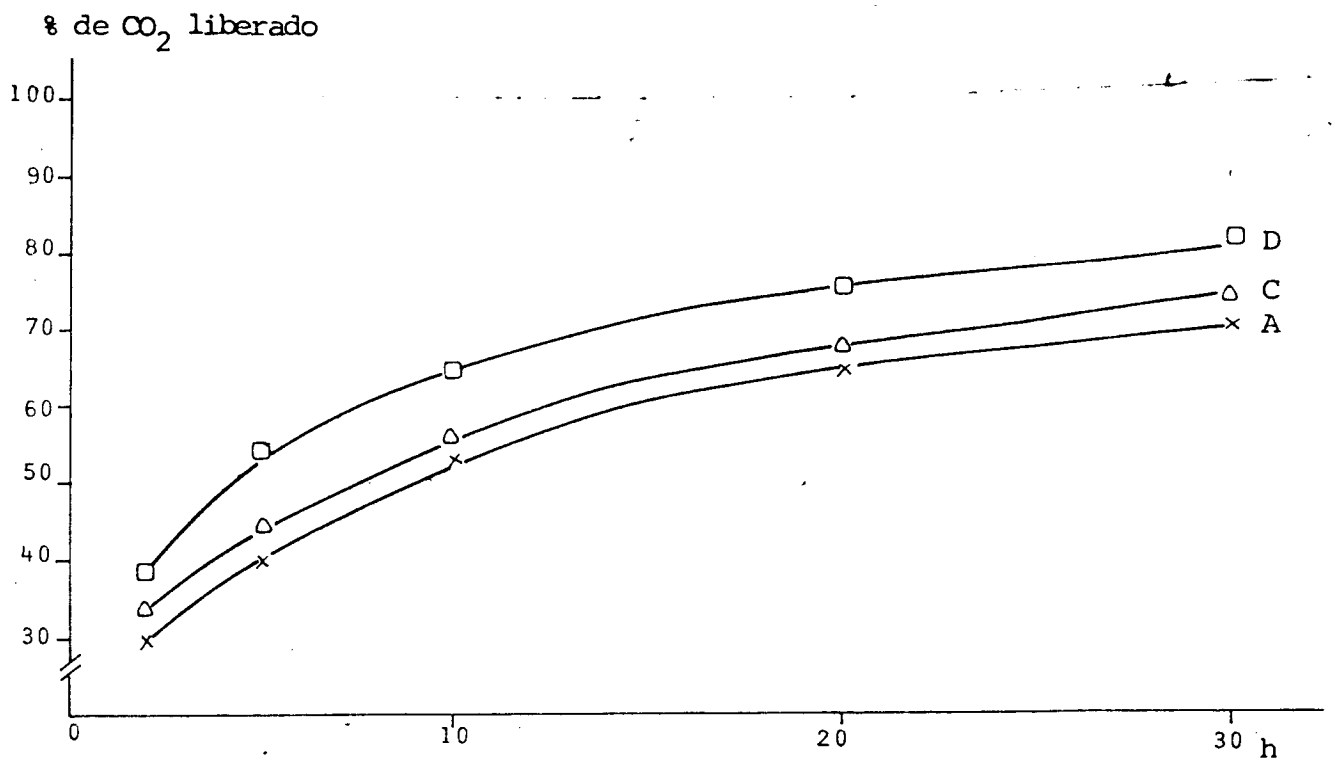


FIGURA 25. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração fraca, com moagens A, C e D e temperatura de repouso de $22\pm1°C$ nas primeiras 30 horas depois da moagem.

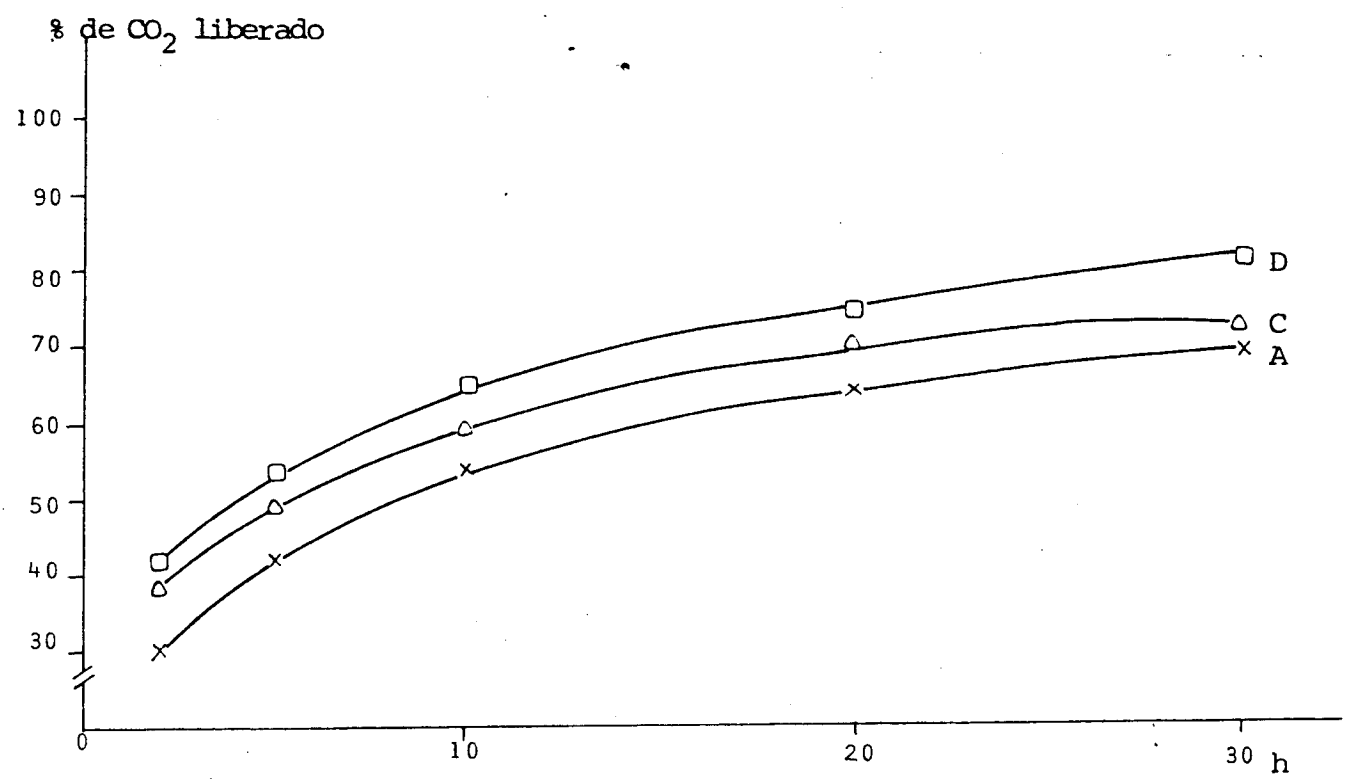


FIGURA 26. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração forte com moagens A, C e D e temperatura de repouso de $22\pm1°C$ nas primeiras 30 horas depois da moagem.

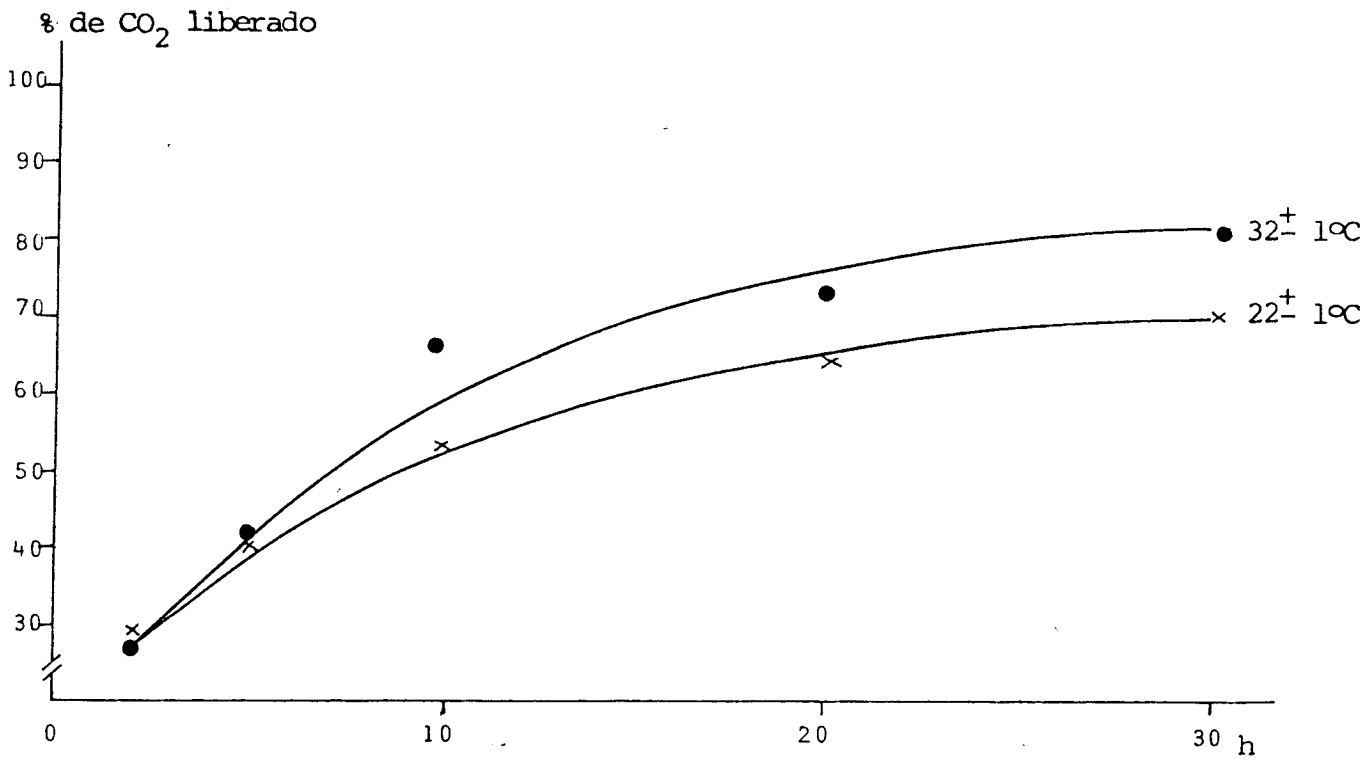


FIGURA 27. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração fraca e moagem A, nas temperaturas de repouso de 22^{+}_{-} 1ºC e 32^{+}_{-} 1ºC, nas primeiras 30 horas depois da moagem.

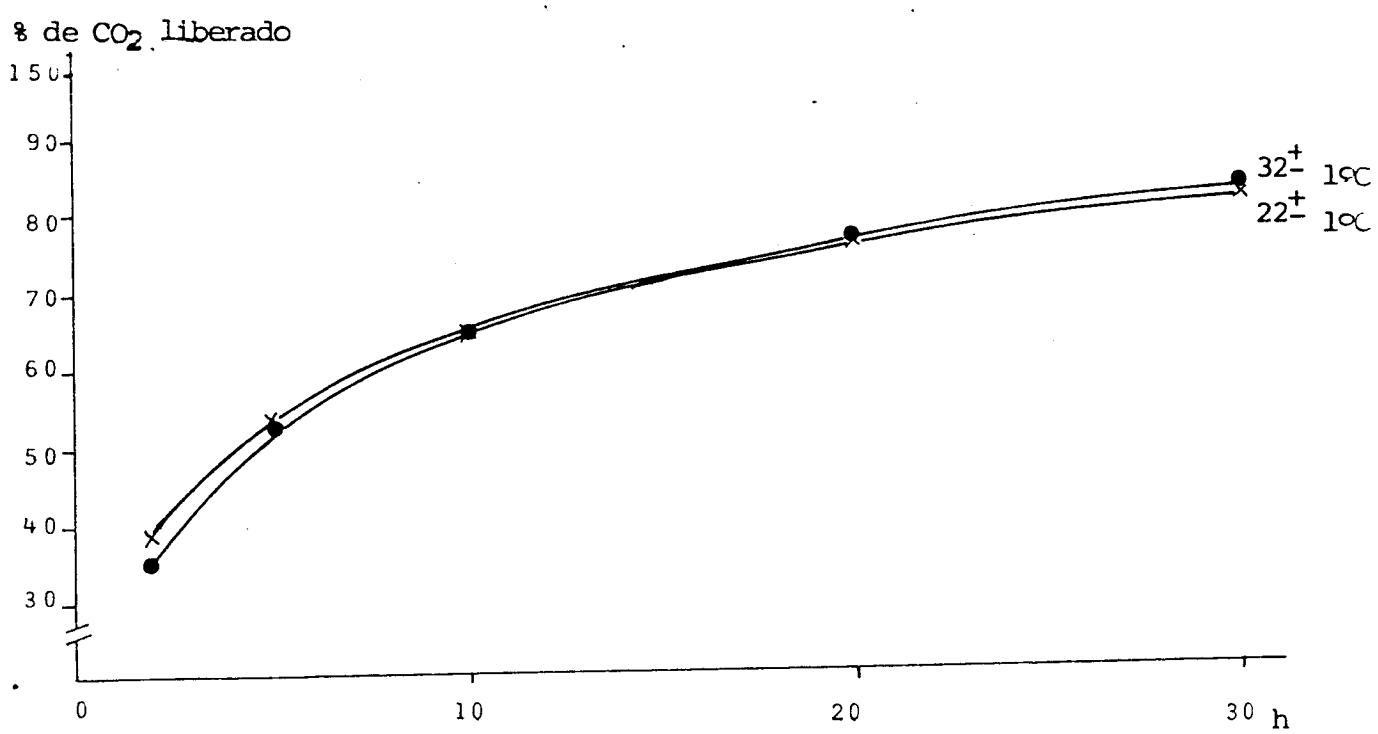


FIGURA 28. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração fraca em moagem D nas temperaturas de repouso 22^{+}_{-} 1ºC e 32^{+}_{-} 1ºC, nas primeiras 30 horas depois da moagem.

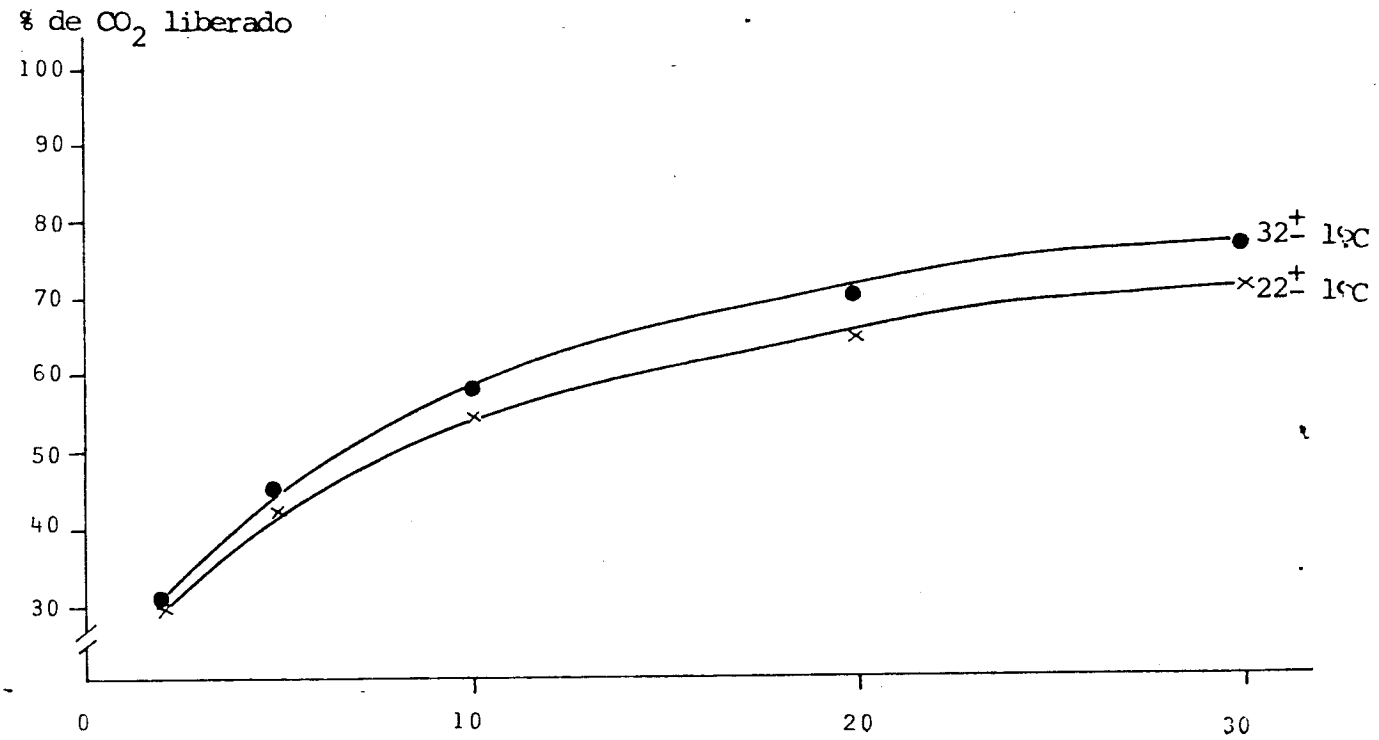


FIGURA 29. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração forte e moagem A nas temperaturas de repouso de 22^{+}_{-} 1°C e 32^{+}_{-} 1°C, nas primeiras 30 horas depois da moagem.

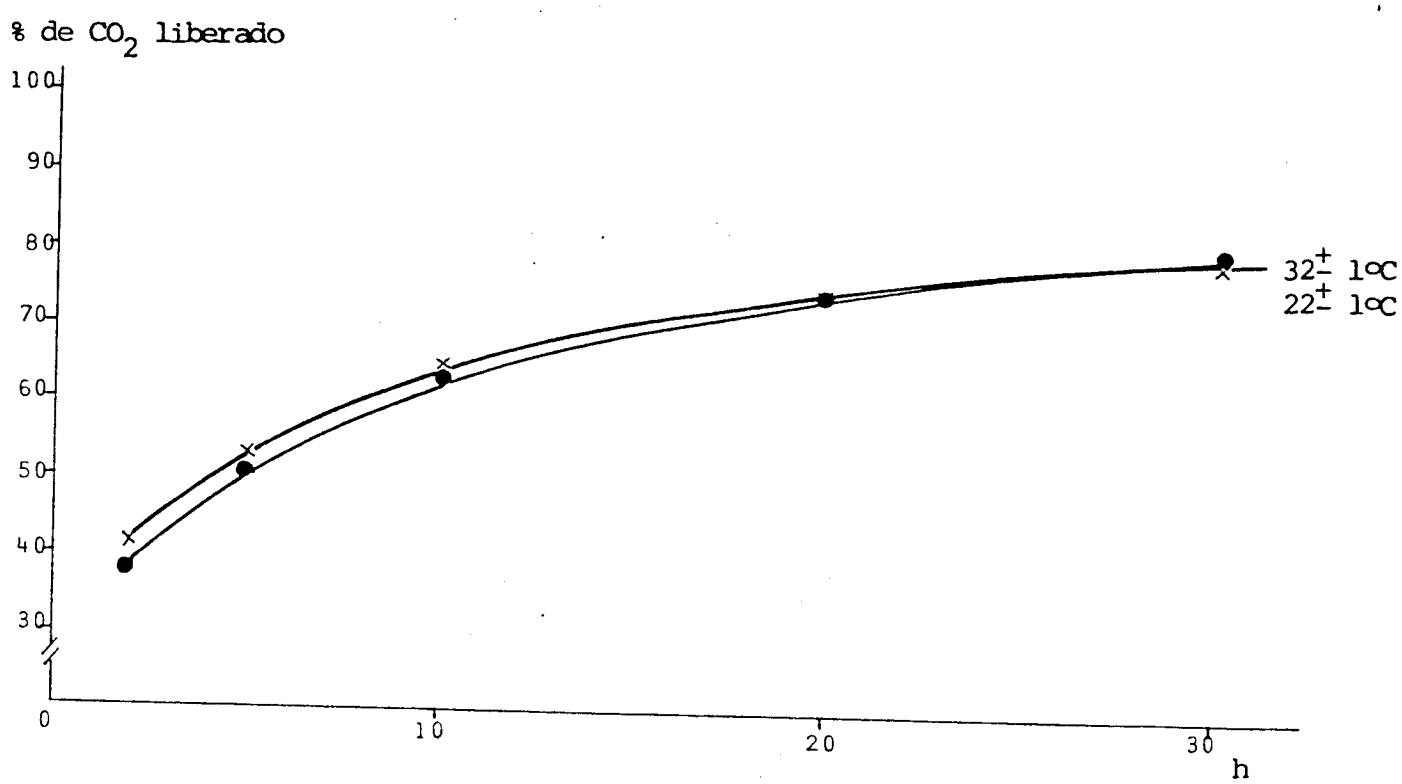


FIGURA 30. Porcentagem de CO_2 liberado em café com torração forte e moagem D nas temperaturas de repouso de 22^{+}_{-} 1°C e 32^{+}_{-} 1°C, nas primeiras 30 horas depois da moagem.

Concluindo, diríamos que a indústria deve, dentro do possível, moer com uma granulometria fina, com d.m.p. de 0,38 - 0,56 mm.

6. CONCLUSÕES

Nas condições do presente trabalho, poderemos concluir:

1. O café com torração forte (TF) tem maior coeficiente da porosidade (ξ) que o café com torração fraca (TC).

2. Com a diminuição do diâmetro médio ponderado (d.m.p.) das partículas de café torrado e moído diminui o CO_2 retido logo depois da moagem, para o mesmo grau de torração.

3. Para o mesmo diâmetro médio ponderado, o café com torração fraca retém mais CO_2 que o café com torração forte.

4. Para uma granulometria grossa (d.m.p. = 0,96mm) a liberação de CO_2 é maior à temperatura de repouso de $32 \pm 1^{o}C$ do que à de $22 \pm 1^{o}C$; para granulometria fina (d.m.p. = 0,38mm) praticamente não há diferenças.

5. As taxas de liberação de CO_2 são muito altas nas primeiras 10 horas depois da moagem, e depois das 30 horas são muito pequenas.

6. Para um mesmo tempo de repouso, as moagens finas (C e D) liberam maior porcentagem de seu conteúdo de CO_2 que a moagem grossa (A).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMORIN, H.V. & AMORIN, V.L. - Coffee Enzymes and Coffee Quality In: ORY, R.L. end ANGELO, A.J. Enzymes in Food and Beverage Processing, 47: 27-56, 1977. (ACS. Symposeium Series).

2. ANÔNIMO - Mother Parker's New Process Eliminates Old Canadian Food Industries. 40: 31,32. 1969.

3. ANGELUCCI, E. - Análise Química de Café. Campinas, Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas, 1981.

4. BARBERA, C.E. - Gás - Volumetric Method for the Determination of the Internal Non-odorous Atmosphere of Coffee Beans. In: ASIC. 3º Colloque International Sur la Chimie des Cafés verts torrefiés et leurs derivés. Trieste, ASIC, 1967.

5. BARBIROLI, G. - Contributo Alla Conoscenza Degli Aminoacidi Liberi e Combinati in Alcuni Tipi di Caffi e Tostati. Rossegna Chimica 17: 220-225, 1965

6. BARBOSA, L.F.; TEIXEIRA, A.A. e CASTILHO, A. - Um Novo Desmuciligizador do Café Despolpado. São Paulo, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, D.P.V., 1962.

7. BUCHI, G.P. - Struktur und Synthese Von Kahweofuran. J.Org.Chem. 36: 199-200, 1971.

8. BUCHNER, N. - Meschinelles Verpacken Von Kaffee-Methoden und Materialien. Gordian, 8: 9-10, 1971.

9. _____ und HEISS, R. Die Gaslagerung Von Bohnen Kaffee. Verpackungsrdsch. 10 (10): 73-80, 1959.

10. CABRAL, A.C.D. Embalagem para Café Torrado e Café Torrado e Moído. Bol. ITAL. 19 (1): 1-19, 1982.

11. CLO, G. & VOILLEY, A. - Evaluation of Ground Coffee Particles for Optimum Extraction. Lebensm. Wiss Technology 16: 39-72,

12. CARVALHO, A. - Secagem de Café em Terreiro. Boletim da Superintendência dos Serviços do Café. 31 (353): 34-35, 1956.

13. COSTE, R. - Cafetos y Cafés en el Mundo . Paris, Maisonneuve e Lorose. 1959 (Vol. I).

14. DEDECCA, D.M. - Anatomia e Desenvolvimento Antogenêtido de *Coffee arabica* L. Var Typica Cramer. Bragantia 10 (23):350-366, 1957.

15. DIAZ, J. et al, Estudio de la Señal Ancha de Resonancia Magnética Nuclear em Muestras de Café Colombiano Preparado em Diferentes Condiciones. In: ASIC. 6º Congresso Internacional de Quimica de Café, Bogotã, ASIC, 1975

16. DORIA, J.O.A.- Embalagem do Café Torrado e Moído. Rio de Janeiro, IBC, 1978.

17. DOMKE, K.C.-Produktschutz - Wasleisten Evakvierung und Schutzasabfüllung für die Werterhaltung von Nahrescngsmittln Ernahrungs Wirtschaft. Lebensmitteltechnick, 12(1): 32-35, 1979.

18. DÜRICHEN, K. und HEISS, R.- Physikalische Überlegungen Zur Verpackung Von Rüst Kaffee in Weichpackungen. Verpackungs Rundschau 5: 38-41, 1970

19. FAZUOLI, L.C., DA COSTA, W.M. DE TOLEDO, S.V. FIGUIREDO, P. e SOLER, R.M. - Programa Integrado de Pesquisa sobre Café. São Paulo, Coordenadoria da Pesquisa Agropecúaria, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1983.

20. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, (Rio de Janeiro) - Anuário Estatístico do Brasil. 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983.

21. FRANCIS, F.J.-Food Colorimetry. Theory and Applications. Connecticut, The AVI Publishing Co, Inc. 1975.

22. GIBSON, A. Photochemical Aspects ot Drying East African Arabica Coffeea. In: ASIC 5º Internat. Wiss Kolloquium über Kaffee, Lessabon: ASIC, 1973.

23. GUYOT, B. - Arômes du Café Torrefie: Methodes d'Analises et d'Applications. Paris, Institute de Recherches du Café et du Cacao, 1983.

24. HEISS, R. und RADIKE, R. - Untersucheengen Über die Vörgange beim Rostem Von Bohnenkaffee und Mohlichkeiten, dü Rostverfahrunzuverbessarn. Kaffee und Tee -Market 19 (5)· 5-12, 1969.

25. _____. - Packaging and Marketing of Roasted Coffee. In: ASIC - 8º e Colloque International Sur la Chimie des cafes Verts Torrefies el leurs Derives. Abidjan, ASIC 1977.

26. _____. - Os Efeitos da Pesquisa Sobre o Moderno Processamento e Comercialização do Café. Campus Instituto de Tecnologia de Alimentos Campinas - 1980 (manuscrito de palestra).

27. INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ (IBC) - Anuário Estatístico, 14 60-62, 1980.

28. JANICEK, G.- Changes of Coffee Lipids Caused by Roasting. Chemickotechnal (Prague, Czech) 21 (10): 307, 1970.

29. JEOL, LTD. - Preparation of Biological Specimens for Scanning Electron Microscopy. São Paulo, Joel, Ltd. 1980.

30. KAREL, M. and HEIDELBAUCH, N.D.-Effects of Packaging on Nutrients in Nutritional. In: HARRIS R.S., ed. - Evaluation of Food Processing. Connecticut, AVI Publishing, 1975.

31. KRUG, C.A.; MALACOLTA, E. - Cultura e Adubação do Cafeeito. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa. 1963.

32. LOCKHART, E.E. Analysis of Coffee Grinds. New York, The coffee Brewing Institute, 1958.

33. MAIER, H.G.-Kaffee. Grundlagen und Fortschritte der Lebensmitteluntersuchung und Lebensmitteltechnologie. Berling, Verlag Paul Parey, 1981.

34. MONACO, L.C.- Progressos na Secagem de Café. Boletim da Superintendência dos Serviços do Café, 33 (380): 40-41, 1958.

35. OBERT, E.F. y GAGGIOLI, R.A. - Termodinamica, New York Mc Gran-Hill. Book Company, INC, 1965 (tradução para Espanhol)

36. ORR, C. & DALLAVALLE, J.M. - Fine Particle Measurement. Size, Surface and Pore Volume. New York, The Macmillan, 1959.

37. PINTAURO, N.D. - Coffea Solubilization. Comercial Processes and Techniques. Food Technology Review 28: 30-31, 1975.

38. PUNNETT, P.W. - What Flavor Measurement Reveals About Keeping Coffee Fresh. Food Industry 2: 401-404, 1930.

39. POKORNY, J. - Verändereengen Von Amenosauren und Reduzierenden Zucker. Wänred des Röstens Von Kaffee Nahrung. 18: 799-805, 1975.

40. _____. - Nonenzymic Browing. Maillard Reactions in Green Coffee Beans on Storage. Z. Lebensm Unters Forsch 158: 87-92, 1975.

41. QUAST, D.G. - Tecnologia do Café Solúvel. Bol-ITAL 14: 37-70, 1963.

42. _____. - Desaeração de Alimentos. Bol-ITAL: 40: 1-17 1974.

43. _____ & KAREL, M. Effects of Oxigen Diffusion on Oxidation of Some Dry Foods. Journal Food Technology (Britain) 6: 95 -106, 1971.

44. _____. - MADI, L.F. SOLER, R.M. - Manual de Projetos de Embalagem para Alimentos com Base na Permeabilidade Gases e ac Vapor de Água. Campinas, ITAL, 1979.

45. _____. - Ensaios de Torrefação de Café em Aparelhos Nacionais e Importados. Bol-ITAL, 40: 49-81. 1974.

46. RADTKE, R. HEISS, R. - Das Problem der CO_2 - Desorption Von Rostkaffee Unterdem Gesichtspunkt einer.
Neun Packstoffentwickling. Kaffee und Tee Markt; 17: 1-8, 1975.

47. ROFFI, J.A. - Cafés Verts et Torrefiés de L'Angola E Stude-Chimique. In: ASIC-5º Internationales Wiss Kolloquium Über Kaffee. Paris, ASIC, 1973.

48. _____, und SPRINGER, R. - Zur Kenntrics des Koffee-aromas und Seiner Veranderungen im Laufeder Lagerung Von Rostkaffee II. Bedeuntung der Aromafraktion Mettlerer Fluchtigkeit. Lebensm. Unters. Forsch 128: 321-333, 1966.

49. SALEEB, E.Z. - Adsorption of Carbon deoxide-on Roast and Ground Coffees. In: ASIC. - Séptieme Colloque International Sur la Chimie des Cafes Verts Torrefies et Leurs Derivés. Hamburg, ASIC. 1975.

50. SHEETS, E.H. & LOPEZ, A. - Apparatus for Determining Dossolved and Dispersed Gas Content on foods. Food Technology 16 (1): 64-69, 1969.

51. SCHRADER, R.U. Die CO_2 - Desroption Von Rostkaffee. In: Abhangig Keit Von der Vorbehandlung. München, Institute fur Lebensmitteltechnologie und Verpackung, 1975.

52. SIVETZ, M. & FOOTE, E. - Coffee Processing Technology, Connecticut, AVI Publishing Company, 1972.

53. STREULI, H. - Kaffee. In: SCHORMIILLER, J. - Handbuch der Lebensmittel Chemie. Berlin, Springer, 1970.

54. _____. - Der Heutige Stand der Kaffee - Chemie, In: ASIC. 6º Congresso Internacional de Química de café. Bogotá, ASIC 1973.

55. VAN VEEN, T. & VREESWIJK, J.H. Sieve Analisis of Finely Ground Coffee. In: ASIC. 4 eme Colloque International Sur la Chimie des cafés. Amsterdam. ASIC, 1969.

56. VILELA, E.P. - Secagem de Café em Terreiro e Silo com Energia Solar. 1975. (Tese da Universidade Estadual de Campinas). Apresentada na Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola (Universidade Estadual de Campinas).

57. VITZTHUM, D.G. - Chemie und Bearbeitung des Kaffees In: EICHLER, O. - Kaffee und Cofein. Berlin, Springer

58. UKERS, W.H. - The Tea and Coffee, New York. 2ª Ed. Trade Journal Company. 1955.

ANEXO 1

Variação da pressão (mm Hg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A) - torração fraca ($22 \pm 1^{o}C$).

Tempo	Grão Inteiro		Moagem A	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	694	0	689	0
1	672	22	560	129
2	656	38	512	177
5	623	71	449	240
7	667	87	409	280
23	489	205	289	400
26	474	220	279	410
32	439	255	259	430
48	369	325	223	466
74	288	406	183	506
130	159	536	134	555
154	116	578	118	571
178	82	612	108	581
202	49	645	103	586
226	29	665	97	592
250	14	680	97	592
277	0	694	96	593
299	-	-	95	594
321	-	-	93	596
346	-	-	92	597
370	-	-	90	599
396	-	-	90	599
	(*) VE = 1106.60mℓ		VE = 1109.98mℓ	

(*) VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 2

Variação da pressão (mmHg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado e moído (C,D) - torração fraca (22 ± 1°C).

Tempo	Moagem C		Moagem D	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	694	0	692	0
2,0	525	169	572	120
4,0	488	206	536	156
8,0	434	260	500	192
24	332	363	446	246
49	264	430	418	274
71	247	447	410	282
94	235	459	400	292
118	224	470	396	296
168	210	484	390	302
213	202	492	386	306
260	193	501	382	310
380	193	501	370	312
	VE = 1109,98mℓ		VE = 1099,42mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 3

Variação de pressão (mmHg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (D) - torração fraca ($32 \pm 1^{o}C$).

Tempo	Grão Inteiro		Moagem D	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	686	0	695	0
2	654	32	591	101
4	626	60	550	145
7	579	107	522	170
8	566	120	515	180
11	530	156	500	195
21	440	246	473	222
25	409	277	463	232
35	343	343	448	247
45	290	396	437	258
53	250	436	430	265
71	190	496	420	275
80	164	522	417	278
100	111	575	414	281
130	51	411	284	
150	22	664	408	287
200	- 32	716	405	290
250	- 79	765	405	290
300	-119	805	405	290
350	-151	837	405	290
400	-179	865	405	290
	VE = 1099,42mℓ		VE = 1106,6mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 4

Variação da pressão (mmHg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado e moído (A,C) - torração fraca (32 ± 1°C).

Tempo	Moagem A		Moagem C	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	692	0	696	0
1	606	86	610	86
2	542	150	546	150
3	508	184	516	180
4	480	212	494	202
5	458	234	476	220
10	372	320	415	281
15	302	390	371	325
20	267	425	339	357
30	225	467	301	395
40	202	490	279	417
45	191	501	269	427
60	175	517	248	448
80	161	531	235	461
100	151	541	226	470
130	132	560	214	482
150	131	561	210	486
180	127	565	206	490
200	125	567	203	493
220	122	570	201	495
240	121	571	199	497
250	120	572	198	498
300	117	575	196	500
350	117	575	196	500
	VE = 1109,98mℓ		VE = 1109,98mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 5

Variação da pressão (mmHg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A) - torração forte (22 ± 1°C).

Tempo	Grão Inteiro		Moagem A	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	694	0	691	0
1	672	22	565	126
2	657	37	509	182
3	642	52	475	216
5	624	70	433	258
7	620	74	405	286
12	568	126	354	337
22	504	190	291	400
26	481	213	274	417
36	433	261	243	448
47	388	306	217	474
60	340	354	195	496
73	309	385	183	508
81	284	410	171	514
97	248	446	158	533
107	225	469	150	541
130	181	513	133	558
151	150	544	125	566
176	111	583	111	580
200	81	613	103	588
224	54	640	95	596
241	42	652	94	597
265	24	670	84	607
288	-	-	84	607
313	-	-	82	609
337	-	-	77	614
	VE = 1106,60mℓ		VE = 1109,98mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 6

Variação da pressão (mmHg) devido a aumento de CO_2 liberado do café torrado e moído (C,D) - torração forte (22 ± 1°C).

Tempo	Moagem C		Moagem D	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	692	0	690	0
1	571	121	610	80
2	538	154	584	106
3	517	175	570	120
4	505	187	562	128
8	457	235	530	160
22	392	300	490	200
26	380	312	481	209
46	348	344	464	226
55	336	356	456	234
74	323	369	449	241
119	301	391	438	252
143	297	395	434	256
167	292	400	434	256
191	286	406	434	256
	VE = 1099,42mℓ		VE = 1099,42mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 7

Variação da pressão (mmHg) devido a aumento de CO_2 liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (C,D) - torração forte ($32 \pm 1^{o}C$).

Tempo	Grão Inteiro		Moagem C		Moagem D	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	692	0	705	0	693	0
1	672	20	546	159	595	98
3	641	51	490	215	554	139
5	609	831	455	250	533	160
8	569	123	423	282	504	189
13	516	176	389	316	486	207
23	434	258	357	348	460	233
30	388	304	342	363	447	246
48	301	391	322	383	427	266
55	269	423	317	388	423	270
72	219	473	312	393	416	277
75	209	483	312	393	413	280
95	156	536	300	405	409	284
119	104	588	290	415	399	294
143	59	633	283	422	394	299
149	47	645	279	426	393	300
165	30	662	278	427	388	305
189	3	689	276	429	385	308
214			275	430	383	311
244			275	430	382	311
270						
285						
	VE = 1099,42mℓ		VE = 1109,98mℓ		VE = 1106,6mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 8

Variação da pressão (mmHg) devido a aumento do CO_2 liberado do café torrado e moído (A) - torração forte (32 $\pm$ 1°C).

Tempo	Moagem A	
(h)	Δh (mmHg)	$\Delta h_o - \Delta h_t$ (mmHg)
0	698	0
1	569	129
2	514	184
3	480	218
6	407	291
8	377	321
9	365	333
15	311	387
24	262	436
28	243	455
48	191	507
62	167	531
86	147	551
112	127	571
127	121	577
151	112	586
192	107	591
217	102	596
250	100	598
300	198	600
350	97	601
	VE = 1109,98 mℓ	

VE = Volume do equipamento (mℓ).

ANEXO 9

Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração fraca (22 ± 1°C; 760mmHg).

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$
0	0	0	0	0
1	10,2	81,0	70,0	55,0
2	17,6	111,2	106,2	74,5
3	22,3	125,6	119,3	89,4
4	27,9	140,7	129,4	96,9
5	33,0	150,7	139,4	104,4
10	51,1	199,1	175,9	125,5
20	85,9	242,5	214,8	147,2
30	113,7	265,7	239,9	159,0
40	135,1	282,0	257,5	166,5
60	169,4	305,3	277,0	172,7
80	200,0	320,3	286,4	177,0
100	220,5	332,9	292,1	182,0
130	248,3	348,6	298,4	184,5
150	265,5	356,1	301,4	186,4
200	298,4	367,4	306,5	189,5
250	315,6	371,8	312,2	192,6
300	325,8	372,7	314,1	192,6

ANEXO 10

Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração fraca (32 ± 1°C); · 760mmHg).

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$
0	0	0	0	0
1	6,4	50,0	53,8	37,6
2	14,7	94,2	93,9	63,2
3	20,7	115,6	112,7	78,9
4	27,6	133,2	126,4	90,8
5	34,5	147,0	137,7	97,0
10	65,7	245,0	203,4	118,3
20	110,7	267,0	223,4	139,0
30	143,4	293,3	247,2	150,2
40	170,0	307,8	261,0	157,7
60	210,9	324,8	280,4	168,4
80	239,8	333,6	288,5	174,0
100	264,2	339,8	294,2	175,9
130	291,8	351,8	301,7	177,8
150	305,1	352,4	304,2	179,6
200	329,9	356,2	308,6	181,5
250	351,5	359,3	311,7	181,5
300	369,9	360,2	313,0	181,5
350	348,6	361,2	313,0	181,5

ANEXO 11

Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração forte (22 ± 1^oC); 760mmHg).

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$
0	0	0	0	0
1	9,8	79,0	75,9	49,6
2	16,5	114,2	96,6	65,8
3	23,2	135,5	109,8	74,4
4	26,8	149,3	117,3	79,4
5	31,3	161,9	127,4	85
10	50,1	208,0	153,7	103,6
20	80,5	244,7	183,2	121,0
30	104,6	268,5	201,4	132,8
40	124,7	285,4	212,0	137,7
60	158,2	311,2	225,2	145,8
80	181,9	325,0	235,3	152,0
100	201,1	336,9	239,6	155,1
130	229,3	350,1	244,7	157,6
150	242,2	355,7	247,8	158,2
200	274,0	368,9	254,7	158,2
250	295,0	374,5	257,2	158,2
300	310,6	379,5	257,2	158,2

ANEXO 12

Quantidade de CO_2 ($Ncm^3/100g$.) liberado do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração forte (32 ± 1^oC; 760mmHg).

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$	$Ncm^3/100gr$
0	0	0	0	0
1	8,8	80,9	99,8	61,3
2	15,9	115,4	119,8	73,8
3	22,6	136,8	134,9	86,9
4	30,1	154,3	144,9	93,8
5	36,7	166,9	156,8	100,0
10	56,3	214,6	185,7	122,5
20	103,9	261,6	213,3	141,4
30	134,4	288,6	227,7	153,8
40	156,1	306,8	235,9	161,3
60	193,3	331,2	244,7	170,7
80	218,9	343,8	252,3	175,0
100	241,9	355,1	256,0	175,6
130	269,8	362,0	263,0	184,4
150	285,25	366,4	266,6	187,5
200	309,6	371,4	269,8	193,2
250	331,7	375,2	269,8	193,2
300	348,1	376,4	269,8	193,2

ANEXO 13

Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t = cm^3 CO_2/h$) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração fraca (22 ± 1°C; 760 mmHg), em 100g de amostra.

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$
1	10,2	81,0	70,00	55,00
2	7,4	30,2	36,20	19,50
3	4,7	14,4	13,1	14,90
4	5,6	15,1	10,1	7,50
5	5,1	10,1	10,8	7,50
10	3,62	9,68	7,3	4,22
20	3,48	4,34	3,89	2,17
30	2,78	2,32	2,51	1,18
40	2,14	1,63	1,76	0,75
60	1,72	1,16	0,96	0,31
80	1,53	0,75	0,47	0,22
100	1,03	0,63	0,29	0,25
130	0,93	0,52	0,20	0,05
150	0,86	0,38	0,15	0,09
200	0,66	0,23	0,10	0,06
250	0,34	0,08	0,10	0,06
300	0,20	0,04	0,04	0

ANEXO 14

Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t = cm^3 CO_2/h$) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração fraca ($32 \pm 1^{\circ}C$; 760 mmHg), em 100g de amostra.

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$
1	6,4	50,0	53,8	37,6
2	8,3	44,2	40,1	25,6
3	6,0	21,4	18,8	15,7
4	6,9	17,6	13,7	11,9
5	6,9	13,8	11,3	6,2
10	6,24	3,92	13,14	4,25
20	4,5	2,2	2,0	4,14
30	3,27	2,63	2,38	1,12
40	2,66	1,45	1,38	0,75
60	2,05	0,85	0,97	0,54
80	1,45	0,44	0,41	0,28
100	1,22	0,31	0,29	0,10
130	0,92	0,4	0,25	0,06
150	0,67	0,03	0,13	0,09
200	0,50	0,08	0,09	0,04
250	0,43	0,06	0,06	0
300	0,37	0,04	0,03	0
350	0,29	0	0	0
400	0,26	0	0	0

ANEXO 15

Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t = cm^3 CO_2/h$) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D,) - torração forte (22 $\pm$ 1°C; 760 mmHg), em 100g de amostra.

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$
1	9,8	79,0	75,9	49,6
2	6,7	35,0	20,7	16,2
3	6,7	21,3	13,2	8,6
4	3,6	13,8	7,5	5,0
5	4,5	12,6	7,1	5,6
10	3,8	9,22	5,86	3,72
20	3,04	3,67	2,95	1,74
30	2,41	2,38	1,82	1,18
40	2,01	1,69	1,06	0,49
60	1,68	1,29	0,66	0,41
80	1,19	0,69	0,51	0,31
100	0,96	0,60	0,21	0,16
130	0,94	0,44	0,17	0,08
150	0,65	0,28	0,16	0,03
200	0,64	0,26	0,14	0
250	0,42	0,11	0,05	0
300	0,31	0,10	0	0

ANEXO 16

Taxa de liberação de CO_2 ($\Delta N/\Delta t = cm^3 CO_2/h$) do café torrado em grão (I) e café torrado e moído (A,C,D) - torração forte (32 ± 1^oC; 760 mmHg), em 100g de amostra

Tempo	Grão Inteiro (I)	Moagem A	Moagem C	Moagem D
(h)	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$	$\Delta N/\Delta t$
1	8,80	80,90	99,80	61,30
2	7,10	34,50	20,00	12,50
3	6,70	21,40	15,10	13,10
4	7,50	17,50	10,00	6,90
5	6,60	12,60	11,90	6,20
10	3,92	9,50	5,78	4,50
20	4,76	4,70	2,76	1,94
30	3,05	2,70	1,44	1,19
40	2,17	1,82	0,82	0,75
60	1,86	1,22	0,44	0,47
80	1,28	0,63	0,38	0,34
100	1,15	0,57	0,19	0,19
130	0,93	0,23	0,23	0,10
150	0,78	0,22	0,18	0,16
200	0,49	0,10	0,06	0,15
250	0,44	0,08	0	0,01
300	0,33	0,02	0	0

ANEXO 17

Porcentages (%) do CO_2 liberado do café torrado fraco em as moagens A, C e D.

Moagem	Tempo	Temperatura de repouso			
		22 ± 1°C		32 ± 1°C	
	(h)	CO_2 (Ncm^3)	%	CO_2 (Ncm^3)	%
A	2	111,2	29,9	94,2	26,1
	5	150,7	40,5	147,0	40,7
	10	199,1	53,5	245,0	67,8
	20	242,5	65,2	267,0	73,9
	30	265,7	71,4	293,3	81,2
C	2	106,2	33,8	93,9	29,8
	5	139,4	44,4	137,7	44,0
	10	175,9	56,0	203,4	65,0
	20	214,8	68,4	223,4	71,4
	30	239,9	76,4	247,2	79,0
D	2	74,5	38,7	63,2	34,8
	5	104,4	54,2	97,0	53,4
	10	125,5	65,2	118,3	65,2
	20	147,2	76,4	139,0	76,6
	30	159,0	82,6	150,2	82,8

ANEXO 18

Porcentages (%) do CO_2 liberado em café torrado forte, em as moagens A, C e D.

Moagem	Tempo	Temperatura de repouso			
		22 ± 1°C		32 ± 1°C	
	(h)	CO_2 (Ncm^3)	%	CO_2 (Ncm^3)	%
A	2	114,2	30,1	115,4	30,6
	5	161,9	42,7	166,9	44,3
	10	208,0	54,8	214,6	57,0
	20	244,7	64,5	261,6	69,5
	30	268,0	70,6	288,6	76,7
C	2	96,6	37,6	119,8	44,4
	5	127,4	49,5	156,8	58,1
	10	153,7	59,8	185,7	68,8
	20	183,2	71,2	213,3	79,1
	30	201,4	73,3	227,7	84,4
D	2	65,8	41,6	73,8	38,1
	5	85,0	53,7	100,0	51,6
	10	103,6	65,5	122,5	63,2
	20	121,0	76,5	141,9	73,2
	30	132,0	83,4	153,8	79,0