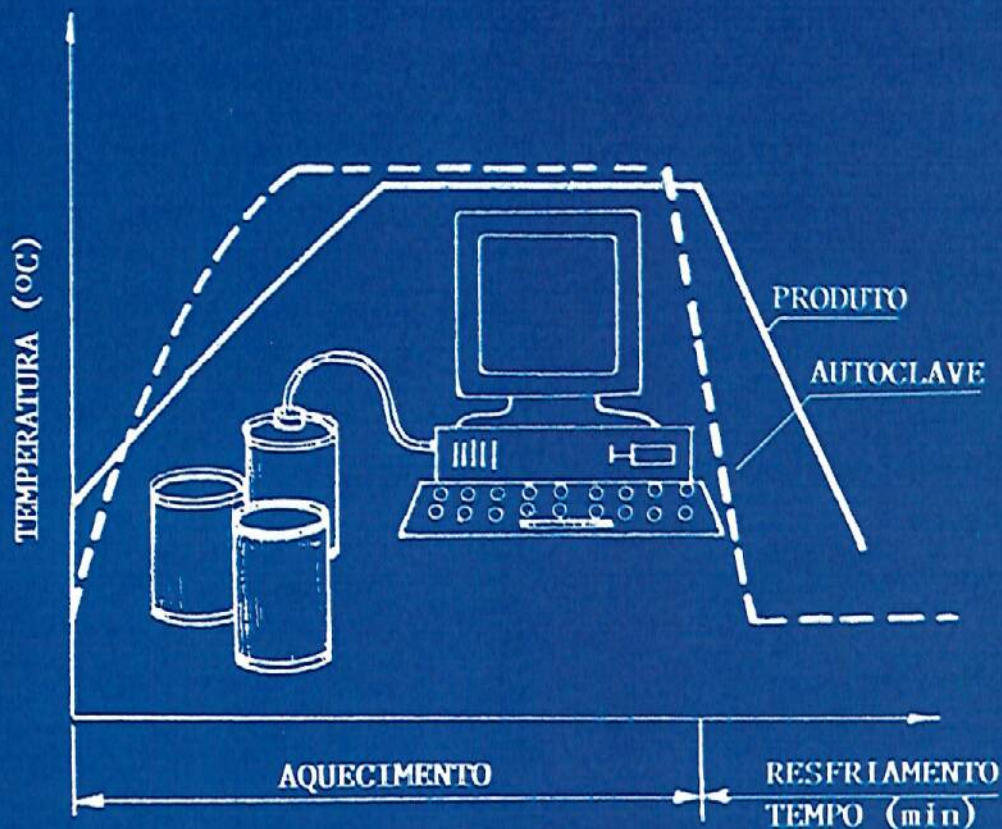


PRINCÍPIOS DE ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS



MANUAL TÉCNICO
Nº 10

N.Cham D.00320 1995

Título: Princípios de esterilização de alimentos.



00027323

ITAL - BC

CAMPINAS - 1995



**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
COORDENADORIA DA PESQUISA AGROPECUÁRIA
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

GOVERNADOR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Mário Covas

SECRETÁRIO DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO

Antonio Cabrera Mano Filho

SECRETÁRIO ADJUNTO

Rodrigo Garcia

CHEFE DE GABINETE

Luiz Carlos Giotto Panunzio

COORDENADOR DA PESQUISA AGROPECUÁRIA

Ondino Cleante Bataglia

DIRETOR GERAL DO ITAL

Nelson José Beraquet

Endereço

ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos

Av. Brasil, 2880

Caixa Postal 139

Fone: (0192) 41.5222

Fax: (0192) 41.5034

13073-001 - Campinas - SP

A. T. 100320
1995
ex. 1

23589
27323



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
COORDENADORIA DA PESQUISA AGROPECUÁRIA



INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



REDE DE NÚCLEOS DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA



CENTRO DE TECNOLOGIA DE HORTIFRUTÍCOLAS

PRINCÍPIOS DE ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS

Manual Técnico, 10

2ª edição

Coordenadores: Sílvia Pimentel Marconi Germer
Sílvia Cristina Sobottka Rolim de Moura

Mauro Faber de Freitas Leitão
Valéria C.A. Junqueira
Rodrigo Otávio Teixeira Neto
José Ricardo Gonçalves
Denise Calil Pereira Jardim
Alfredo de Almeida Vitali

Apoio: FUNDEPAG

Campinas - 1995

GERMER, Sílvia Pimentel Marconi, MOURA, Sílvia Cristina Sobottka Rolim de et al. (coord.)

Princípios de esterilização de alimentos / Sílvia Pimentel Marconi Germer, Sílvia Cristina Sobottka Moura, Mauro Faber de Freitas Leitão, Valéria C.A. Junqueira, Rodrigo Otávio Teixeira Neto, José Ricardo Gonçalves, Denise Calil Pereira Jardim e Alfredo de Almeida Vitali. -- 2ª ed. -- Campinas: ITAL, 1995.

123p. : il. ; 28cm. (Manual Técnico, 10)

ISBN 85-7029-006-3

1. Alimentos - esterilização - princípios I. Autores II. Título

CDD 664.028

Apesar das recomendações contidas nesta publicação serem baseadas em estudos científicos e experiência industrial, as referências a procedimentos operativos e/ou métodos e tipos de equipamentos e/ou instrumentos não significam qualquer garantia de que são suficientes para prevenir danos, vazamentos, perdas, acidentes, intoxicações ou ferimentos, resultantes do seu uso. Além disso, o estudo e o uso desta publicação por qualquer pessoa, empresa ou entidade não asseguram proficiência nas operações e procedimentos discutidos nesta publicação. A aplicação de afirmações, recomendações ou sugestões aqui contidas não pode ser considerada como geradora de qualquer responsabilidade por danos, vazamentos, perdas, acidentes, intoxicações ou ferimentos decorrentes. Todos os nomes de marcas e produtos mencionados são marcas registradas ou comerciais de suas respectivas companhias, e suas menções não devem ser interpretadas como sugestão ou recomendação de compra ou uso.

APRESENTAÇÃO

O NÚCLEO ESPECIALIZADO DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA EM ALIMENTOS é parte integrante da Rede Nacional de Informação em Tecnologia Industrial Básica, instituída por meio do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PADCT, do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT e com apoio da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa Agropecuária - FUNDEPAG.

Como parte das atividades do NEI/AL, vem se procurando difundir informação tecnológica, por meio da edição de publicações técnicas, a fim de contribuir para a capacitação da indústria, para o aperfeiçoamento ou o desenvolvimento de novos produtos e processos.

Para o lançamento do décimo número, 2ª edição, da "Série Manual", o NEI/AL selecionou o tema "Princípios de Esterilização de Alimentos", com o intuito de oferecer ao leitor informações que venham a contribuir para o desenvolvimento tecnológico do setor industrial.

Dulcídio Elias Oliveira Pedrosa
Núcleo Especializado de Informação Tecnológica em Alimentos
Coordenador

PREFÁCIO

O presente manual foi escrito como material didático do curso "Princípios de Esterilização de Alimentos", ministrado pelo Centro de Tecnologia de Hortifrutícolas (FRUTHOTEC)-ITAL e também como fonte de consulta para técnicos e estudantes com interesse na área, preenchendo uma lacuna na bibliografia em língua portuguesa no assunto.

A esterilização térmica de alimentos de baixa acidez visa à destruição de formas viáveis de microrganismos patogênicos ou não, capazes de se desenvolver no produto sob condições normais de armazenamento e distribuição sem refrigeração. Para isto é preciso dimensionar um processamento térmico seguro e condizente com as características do produto e sua embalagem, o que envolve conceitos fundamentais de engenharia, matemática e microbiologia.

Características importantes da microbiologia dos produtos de baixa acidez já extensamente conhecidas, bem como as principais causas de deterioração microbiana nos produtos enlatados esterilizados são apresentadas de forma organizada e de fácil compreensão. Dada a sua atualidade, uma abordagem de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) é apresentada, como uma importante ferramenta a ser utilizada para um controle criterioso nas etapas críticas de processos, reduzindo ao mínimo as não-conformidades e garantindo a segurança, do ponto de vista de saúde pública.

Nas últimas décadas a termobacteriologia e as técnicas de medidas de temperatura em diferentes tipos de embalagens evoluíram consideravelmente, facilitando a definição dos processamentos térmicos, cujos parâmetros tempo/temperatura são definidos com base no conceito de taxa letal, expressos no chamado "valor Fo de esterilização", através do qual é possível comparar diferentes processamentos e assegurar esterilidade comercial aos produtos. Os métodos mais usuais de cálculo do valor Fo - o genérico e o matemático - são descritos detalhadamente e com exemplos de cálculo ao longo do manual. Levou-se em conta, também, a crescente preocupação da manutenção das características naturais dos produtos, abordada nos métodos de otimização de processo cujo o objetivo é minimizar as perdas de qualidade no processamento térmico sem comprometer a segurança, do ponto de vista de saúde pública.

Finalmente, ferramentas modernas de coleta e processamento de dados envolvendo sensores de temperatura, acessórios complementares, aquisitores de dados, "software" de cálculo são apresentados, ampliando as opções para a realização deste trabalho com maior segurança e facilidade.

Enfim, procurou-se apresentar no presente manual, informações e referências atualizadas e pertinentes ao trabalho do profissional da área de termoprocessamento, almejando o seu aperfeiçoamento técnico e conseqüente incremento da qualidade dos produtos termicamente processados.

Silvia Pimentel Marconi Germer
Silvia Cristina Sobottka Rolim de Moura

CONTEÚDO

CAPÍTULO I - MICROBIOLOGIA APLICADA À ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS

1. INTRODUÇÃO	3
2. TIPOS DE DETERIORAÇÃO DE ALIMENTOS ENLATADOS	4
3. PRINCIPAIS ORGANISMOS DETERIORADORES DE ALIMENTOS	5
3.1 CLASSIFICAÇÃO DE ALIMENTOS ENLATADOS DE ACORDO COM pH	5
3.2 MICRORGANISMOS EM ALIMENTOS ENLATADOS DE MÉDIA OU BAIXA ACIDEZ	5
3.2.1 Bactérias esporuíadas aeróbias	5
3.2.2 Bactérias esporuladas anaeróbias	6
3.2.3 Bactérias esporuladas termófilas	6
3.2.4 Bolores, leveduras e bactérias não esporuladas	8
3.3 MICRORGANISMOS EM ALIMENTOS ÁCIDOS	9
3.3.1 Bactérias esporuladas	9
3.3.2 Bactérias não esporuíadas	9
3.3.3 Leveduras	9
3.3.4 Bolores	10
4. PRINCIPAIS CAUSAS DE DETERIORAÇÃO MICROBIANA DE ALIMENTOS	10
4.1 SUBPROCESSAMENTO TÉRMICO	10
4.2 DETERIORAÇÃO DEVIDA A RESFRIAMENTO INADEQUADO (DETERIORAÇÃO POR TERMÓFILOS)	12
4.3 VAZAMENTO	13
4.4 DETERIORAÇÃO PRÉ-PROCESSAMENTO	15
5. CONTROLE DE DESENVOLVIMENTO MICROBIANO EM ALIMENTOS PELO USO DO CALOR	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO II - SISTEMA DE ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE APLICADO À INDÚSTRIA DE ALIMENTOS TERMICAMENTE PROCESSADOS EMBALADOS HERMETICAMENTE E ESTÁVEIS EM TEMPERATURA AMBIENTE	
1. INTRODUÇÃO	25
2. DEFINIÇÕES	26
3. ETAPAS NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE APPCC	26
4. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE APPCC	26
4.1 RECEPÇÃO E TRATAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA	26
4.2 FORMULAÇÃO	28
4.3 LIMPEZA E INSPEÇÃO DA EMBALAGEM	29
4.4 ENCHIMENTO	29

4.5 EXAUSTÃO	29
4.6 FECHAMENTO	29
4.7 PROCESSAMENTO TÉRMICO	30
4.8 RESFRIAMENTO	30
4.9 MANUSEIO DO RECIPIENTE	31
4.10 EMBALAGEM	31
4.11 ARMAZENAMENTO	32
4.12 DISTRIBUIÇÃO	32
5. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPÍTULO III - TÉCNICAS E REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DE CURVAS DE PENETRAÇÃO DE CALOR	
1. INTRODUÇÃO	37
2. SELECIONANDO SENSORES DE TEMPERATURA	37
2.1 TERMOPARES (TC's - "THERMOCOUPLES")	38
2.2 TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA (RTD's - "RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR")	39
2.3 TERMISTORES	39
2.4 CUIDADOS NA UTILIZAÇÃO DE SENSORES	40
2.4.1 Interferências elétricas	40
2.4.2 Influências ambientais	40
2.4.3 Calibração	40
3. DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA	41
4. PENETRAÇÃO DE CALOR	42
4.1 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO	42
4.2 GEOMETRIA DA EMBALAGEM	42
4.3 ESPAÇO-LIVRE	43
4.4 OUTROS FATORES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS TÉRMICOS UTILIZANDO O MÉTODO GENÉRICO	
1. INTRODUÇÃO - CONCEITUAÇÃO DE "D" E "z"	47
2. CONCEITUAÇÃO DE TAXA LETAL	50
3. O MÉTODO GENÉRICO DE CÁLCULO DE F_0	52
3.1 CÁLCULO DE F_0 PELO MÉTODO GRÁFICO	54
3.2 CÁLCULO DE F_0 PELO MÉTODO DE PATASHNIK	57
4. CÁLCULO DO TEMPO DE PROCESSO PARA UM DETERMINADO F_0	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

29	CAPÍTULO V - MÉTODO MATEMÁTICO PARA CÁLCULO DA PENETRAÇÃO DE CALOR E DA LETALIDADE DO PROCESSO TÉRMICO	
29		
30	1. INTRODUÇÃO	63
30	2. CURVA DO HISTÓRICO DA TEMPERATURA	63
31	3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O TEMPO DE AQUECIMENTO	63
31		
32	4. TRATAMENTO DOS DADOS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO: CURVAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO	67
32		
32	5. AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO TÉRMICA PELO MÉTODO MATEMÁTICO	68
33	5.1 CURVA DE AQUECIMENTO	68
	5.2 CURVA DE RESFRIAMENTO	68
	5.3 CURVAS QUEBRADAS	69
37	5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CURVAS	69
37	5.5 VALOR DA LETALIDADE DO PROCESSO	69
38	6. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CÁLCULOS	71
39	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
39	CAPÍTULO VI - OTIMIZAÇÃO DA ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS	
40	1. INTRODUÇÃO	77
40	2. HISTÓRICO	77
40	3. MÉTODO DE THIJSEN	78
40	3.1 FLUXOGRAMA BÁSICO PARA CÁLCULO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE PROCESSO	79
41	3.2 FLUXOGRAMA PARA CÁLCULO DE RETENÇÃO DE NUTRIENTE	80
42	3.3 EQUAÇÕES DO FLUXOGRAMA	83
42	3.3.1 Parâmetros cinéticos	83
42	3.3.2 Dimensão característica	83
43	3.3.3 Número de Biot, Fourier e Correção	83
43	3.3.4 Correção da temperatura	84
44	3.3.5 Redução nutriente - primeira aproximação	84
	3.3.6 Correção no tempo ótimo (tempo de subida)	84
	4. NOMENCLATURA	84
47	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
50	CAPÍTULO VII - USO DA INFORMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO TÉRMICO	
52		
54	1. INTRODUÇÃO	89
57	2. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE DADOS	89
58	3. GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES EM UM SPD	89
60	4. AQUISITOR DE DADOS	90

5.USO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA O CÁLCULO DE F_0 DE ESTERILIZAÇÃO . . .	93
5.1 EXEMPLO 1: CÁLCULO DE F_0 PELO MÉTODO GENÉRICO USANDO O LOTUS 1-2-3 ^R	94
5.1.1 Algoritmo de cálculo de F_0 no Lotus	94
5.1.2 Algoritmo de cálculo de F_0 no Excel ^R	95
5.1.2.A Importação de arquivos e preparo da planilha	95
5.1.2.B Cálculo	96
6. DESENVOLVIMENTO DE UMA ROTINA PARA CÁLCULO DE F_0 EM LINGUAGEM DE ALTO NÍVEL	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
APÊNDICE I	101
APÊNDICE II	120

. . . 93
. . . 94
. . . 94
. . . 95
. . . 95
. . . 96

. . . 97
. . . 98
. . . 101
. . . 120

CAPÍTULO I

**MICROBIOLOGIA APLICADA À
ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS**

Mauro Faber de Freitas LEITÃO
Valéria Cristina Amstalden JUNQUEIRA

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos enlatados ou envasados normalmente são preservados pela aplicação de métodos físicos ou químicos, sendo o mais freqüente a utilização de tratamentos térmicos, de intensidade variável, de acordo com as condições do produto, particularmente seu pH, atividade de água e potencial de oxidação.

Sem dúvida, os alimentos que oferecem maiores riscos são os denominados (pela Food and Drug Administration - FDA, Estados Unidos da América) de baixa acidez, entendendo-se por tal "quaisquer alimentos, exceto bebidas alcoólicas, apresentando uma atividade de água superior a 0,85 e um pH de equilíbrio maior que 4,6" (FOOD PROCESSORS INSTITUTE, 1983). Teoricamente, esses alimentos oferecem riscos potenciais de proliferação de bactérias patogênicas, inclusive *C. botulinum*, razão pela qual medidas extremas de segurança devem ser adotadas em seu processamento. É interessante observar que *C. botulinum* não se desenvolve, nem produz toxinas em valores de Aa inferiores a 0,93; assim, um alimento pode ser preservado mediante tratamentos térmicos menos severos, independente da destruição dos esporos de *C. botulinum*, desde que Aa seja convenientemente controlada e mantida sempre abaixo do limite acima referido; a fixação do valor Aa = 0,85 prende-se mais à razão de segurança, em face à falta de precisão e acurácia das medidas deste parâmetro e às dificuldades inerentes à formulação de produtos com Aa rigidamente definida (FOOD PROCESSORS INSTITUTE, 1983). Nesta categoria de alimentos de baixa acidez, o processamento térmico deve ser conduzido de forma a assegurar a esterilidade comercial do produto final.

O conceito de esterilidade comercial está associado à obediência às seguintes condições (CANADA *et al.*, 1976):

- a) ausência de microrganismos capazes de crescimento e deterioração do produto nas condições normais de armazenamento;
- b) ausência de microrganismos patogênicos capazes de proliferar no alimento.

Nessas condições, fica evidente que, por esterilidade comercial, não se subentende esterilidade absoluta, uma vez que os microrganismos variáveis podem ser recuperados de alimentos comercialmente estéreis. Tal ocorrência pode ser constatada sob três situações diversas (CANADA *et al.*, 1976):

- a) os microrganismos viáveis presentes no alimento são bactérias termófilas estritas e incapazes de se multiplicar nas condições de temperatura vigentes durante o armazenamento. Assim, *Bacillus stearothermophilus*, produzindo a deterioração tipo "flat sour", não se desenvolve em alimentos a temperaturas abaixo de 43°C (MAUNDER, 1976), ao passo que *C. thermosaccharolyticum*, produzindo ácidos e gases, não se multiplica em temperaturas inferiores a 35°C (ASHTON, 1976). Nestas condições, se o alimento processado for continuamente mantido abaixo destas temperaturas, a eventual presença de esporos viáveis não acarretará problemas de deterioração, mantendo-se, portanto, a esterilidade comercial do produto;
- b) o alimento termicamente processado está na faixa de alimentos ácidos (pH inferior a 4,6) ou muito ácidos (pH inferior a 4,0); nestas condições, a presença de formas viáveis de microrganismos, mas incapazes de proliferar em ambientes ácidos, não afetará a qualidade microbiológica do alimento;
- c) bactérias esporogênicas mesófilas ou termófilas podem ser recuperadas a partir de alimentos em que se utilizam processos combinados de tratamento térmico e redução de atividade de água para se evitar a deterioração.

2. TIPOS DE DETERIORAÇÃO DE ALIMENTOS ENLATADOS

Um alimento enlatado é classificado como deteriorado quando, por qualquer razão, sofre uma alteração prejudicial ou a condição do recipiente toma tal alteração possível.

A deterioração pode ocorrer devido a várias causas, tais como reações químicas entre o alimento e o recipiente, falhas técnicas na operação de enlatamento e o armazenamento e manuseio deficientes.

Latas deterioradas podem apresentar uma aparência externa perfeitamente normal e, em alguns casos, quando a falha é devida a deficiências no manejo de autoclaves, o produto pode ser bastante aceitável. Mesmo em tais circunstâncias, estas latas podem ser consideradas como deterioradas, uma vez que são visualmente indistinguíveis de latas com deterioração pela atividade de microrganismos.

As extremidades de uma lata normal, com vácuo razoável, são ligeiramente côncavas ou planas. O estufamento é devido à produção de gases, seja pela atividade microbiana ou por alterações de natureza química. De acordo com a intensidade da alteração pode-se definir as seguintes condições:

- lata plana ("flat") - ambas as extremidades são planas;
- "flipper" - aparência normal, mas quando a lata é comprimida fortemente em uma das extremidades, a outra estufará. Quando a pressão aplicada é removida, ambas as extremidades voltarão a ser planas;
- "springer" - é o caso da lata com uma das extremidades permanentemente dilatada. Quando pressão é aplicada a essa extremidade, ela se torna plana, mas a outra se dilata;
- estufamento leve ("soft swell") - estufamento em ambas as extremidades, mas não tão intenso que não ceda parcialmente à aplicação de pressão do polegar;
- estufamento intenso ("hard swell") - estufamento acentuado, não cedendo sob a pressão do polegar.

Os principais tipos da deterioração de alimentos podem ser assim classificados:

• Origem microbiana:

- subprocessamento;
- resfriamento inadequado;
- contaminação resultante de vazamento;
- deterioração pré-processamento.

• Origem química:

- estufamento devido à produção de hidrogênio.

• Origem física:

- técnica deficiente na operação da autoclave;
- exaustão deficiente;
- enchimento excessivo das latas;
- "pannelling" - apainelamento.

• Origem variada:

- ferrugem;
- danos.

3. PRINCIPAIS ORGANISMOS DETERIORADORES DE ALIMENTOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DE ALIMENTOS ENLATADOS DE ACORDO COM pH

A acidez de um alimento, expressa pelo seu pH, é de grande importância na caracterização do tipo de deterioração e dos microrganismos nele envolvidos.

CAMERON, ESTY (*apud* HERSON, HULLAND, 1980) propuseram a seguinte classificação para alimentos enlatados:

- Grupo 1: alimentos pouco ácidos - pH acima de 5,3, como ervilha, milho, vagens, carnes, peixes, leite, etc.
- Grupo 2: alimentos meio ácidos - pH entre 5,3 - 4,5, como espinafre, aspargo, beterraba, sopas, molhos, etc.
- Grupo 3: alimentos ácidos - pH entre 4,5 - 3,7, como tomate, pêra, abacaxi, figo e outros frutos.
- Grupo 4: alimentos altamente ácidos, como chucrute, picles, sucos de frutas cítricas, etc., com pH < 3,7.

A principal demarcação na classificação da acidez dos alimentos encontra-se em pH 4,6. Abaixo deste ponto, o crescimento de *C. botulinum* é inibido e, para alimentos com valores de pH menores que 4,6, o tratamento sob pressão não é normalmente utilizado. Embora tenha sido evidenciado o crescimento de *C. botulinum* em produtos com pH menor que 4,6, este fato constitui uma exceção.

3.2 MICRORGANISMOS EM ALIMENTOS ENLATADOS DE MÉDIA OU BAIXA ACIDEZ

3.2.1 Bactérias esporuladas aeróbias

As bactérias do gênero *Bacillus* são largamente distribuídas na natureza. Originárias do solo e água, estão sempre presentes na matéria-prima a ser processada. Para a maioria dos membros desse grupo, as temperaturas ótimas de crescimento giram entre 28-40°C, embora existam espécies termófilas. Com relação ao oxigênio, alguns são estritamente aeróbios, enquanto outros são anaeróbios facultativos, não sendo o seu crescimento inibido pelo vácuo. Muitas dessas bactérias, especialmente as termófilas, apresentam esporos com excepcional resistência térmica, devendo ser considerada, por isso, como importantes agentes de deterioração. Os esporos dos mesófilos não são tão resistentes ao calor, sendo destruídos em pouco tempo a 100°C ou menos, embora alguns possam sobreviver a tratamentos sob pressão.

A mais importante deterioração causada por *Bacillus* é do tipo "flat sour", ou seja, há produção de ácidos a partir de açúcares, sem formação de gases, resultando numa queda do pH, sem perda do vácuo na lata. Normalmente, espécies termófilas são as responsáveis por este processo - *B. stearothermophilus* e *B. coagulans* particularmente o primeiro, que é altamente resistente ao tratamento térmico.

Em alimentos processados a temperaturas mais baixas, uma microflora maior pode sobreviver, incluindo *B. cereus* (potencialmente patogênico), *B. subtilis* (estritamente aeróbio, formador de película), *B. megatherium* e *B. polymyxa*.

B. polymyxa e *B. macerans* têm sido relatados como causadores de deterioração de ervilhas, aspargo, espinafre, etc., embora haja dúvidas quanto à causa do processo (provável vazamento).

A maioria dos organismos do gênero *Bacillus* são capazes de metabolizar carboidratos, apenas com produção de ácidos. No entanto, *B. polymyxa* e *B. macerans* (aerobacilos) também são produtores de gás.

Em leite e creme enlatado, *Bacillus* pode produzir defeitos caracterizados pela mudança no sabor para amargo, bem como geleificação e coagulação do produto. Em pescados enlatados (salmão, ostras e camarão), *B. cereus* e *B. mesentericus* têm sido incriminados por deteriorações caracterizadas por mudanças no sabor e odor, alterações na cor e amolecimento da carne.

3.2.2 Bactérias esporuladas anaeróbias

Os esporulados anaeróbios são derivados principalmente do solo, daí sua ampla ocorrência no leite, nos vegetais e em outros alimentos. Algumas espécies são comumente encontradas no trato intestinal do homem e dos animais, como o *C. perfringens*, sendo, portanto, contaminantes freqüentes de carnes e os principais responsáveis pela deterioração destes alimentos.

Com referência à deterioração, deve-se distinguir o grupo de *Clostridium* mesófilos e termófilos. Podem, ainda, possuir atividade metabólica predominantemente através da fermentação de açúcares (*C. butyricum*), causando o tipo de deterioração butírica em alimentos meio ácidos, com estufamento da lata pelo CO₂ e H₂ produzidos. Outras espécies, entre os mesófilos, são predominantemente proteolíticas ou putrefativas (PA), decompondo proteínas com a produção de H₂S, amônia, indol e escatol, substâncias com aroma desagradável, bem como CO₂ e H₂, causando o estufamento de latas. A temperatura ótima de desenvolvimento dos mesófilos anaeróbios é em torno de 37°C, muitos desenvolvendo-se a 20°C ou menos.

Grupo putrefativo (PA) - *C. hystolyticum*, *C. sporogenes*, *C. botulinum* proteolítico.

Grupo sacarolítico - *C. butyricum*, *C. perfringens*, *C. pasteurianum*, *C. botulinum* não-proteolítico.

O significado dos grupos como agentes de deterioração é relacionado com o tipo de alimento e, para produtos pouco ou meio ácidos, os putrefativos são os de maior importância. Neste grupo, *C. sporogenes* é o mais freqüentemente envolvido. Esta bactéria apresenta os esporos com elevada resistência térmica (algumas cepas mais que *C. botulinum*). Tal bactéria foi relatada como sendo o mais importante agente de deterioração em peixe e carne enlatados, enquanto em feijão, ervilha e batata, *C. butyricum* foi o principal responsável.

Ainda no grupo das bactérias esporuladas anaeróbias mesófilas destaca-se o *C. botulinum*, produtor da toxina de maior letalidade entre as de origem biológica, merecendo, portanto, medidas extremas de controle no sentido de se evitar sua presença nos alimentos enlatados de baixa acidez.

3.2.3 Bactérias esporuladas termófilas

Em alimentos, os termófilos de maior destaque são: *Bacillus coagulans* (= *B. thermoacidurans*), *B. stearothermophilus*, *C. thermosaccharolyticum* e *Desulfotomaculum nigrificans*.

B. coagulans são bastonetes móveis, geralmente Gram positivos e aeróbios facultativos. São termófilos facultativos, com temperaturas ótimas ao redor de 45°C e máximas entre 55 e 60°C e apresentam leve crescimento a 28°C.

Uma importante característica de *B. coagulans* é a sua capacidade de se desenvolver em meios ácidos, com pH inferior a 4,6, embora pH 5,0 seja considerado ótimo para o seu desenvolvimento. Em seu metabolismo, atua sobre açúcares com produção de ácidos, sem haver formação de gases. Não é proteolítico.

B. stearothermophilus bastonetes móveis, Gram variáveis, aeróbios ou anaeróbios facultativos; são capazes de se desenvolver entre as temperaturas de 33 a 70°C, não o fazendo a 28°C; o ótimo situa-se a 55°C, sendo que, em alimentos, seu crescimento não foi constatado a temperaturas abaixo de 40°C. Apresentam metabolismo semelhante ao de *B. coagulans*, com fermentação de açúcares, sem produção de gases, não sendo proteolíticos. Em relação ao pH, desenvolvem-se melhor sob condições de fraca acidez ou próximas de neutralidade, sendo ideais os valores de pH entre 6,0 e 7,2.

C. thermosaccharolyticum são bastonetes móveis, anaeróbios e Gram negativos. Apresentam temperaturas ótimas de desenvolvimento entre 55 e 62°C. Entretanto, podem desenvolver-se, se bem que lentamente, em alimentos conservados a 37°C, não o fazendo a temperaturas abaixo de 32°C. Caracterizam-se pela fermentação de açúcares com produção de ácidos, predominando o ácido butírico e gases (H₂ e CO₂). Não são proteolíticos. Em relação ao pH, o ótimo situa-se entre 6,0 e 7,5, desenvolvendo-se, entretanto, em produtos com pH variando de 4,5 a 5,0.

D. nigrificans são bastonetes móveis, Gram positivos e anaeróbios, com temperatura ótima ao redor de 55°C, apresentando desenvolvimento no intervalo de 37 a 70°C, não o fazendo a 30°C. Com relação ao pH, desenvolvem-se entre os valores de 5,0 a 7,5, estando o ótimo situado entre 6,0 e 7,0. Não atuam sobre açúcares, podendo, no entanto, produzir gás sulfídrico (H₂S), a partir de aminoácidos como a cistina e cisteína, bem como a partir de sulfatos e sulfitos.

Pela atividade de bactérias termófilas em alimentos resultam alterações que podem ser subdivididas nos seguintes tipos:

- alterações tipo "flat sour";
- alterações caracterizadas pela produção de ácidos e gases,
- alterações caracterizadas pela produção de gás sulfídrico.

Alterações tipo "flat sour", produzidas pelas bactérias *B. coagulans* e *B. stearothermophilus*

Caracterizam-se pela produção de ácidos a partir de açúcares, sem que haja formação de gases; isto resulta numa queda acentuada no pH do produto, não havendo estufamento da lata, a menos que, devido à formação de ácidos, ocorra corrosão, com conseqüente desprendimento de hidrogênio. Outras características observadas são: redução do vácuo da lata, alterações no aroma do produto e, às vezes, turvação na salmoura, sem que ocorram modificações sensíveis no aspecto do produto.

A presença de *B. coagulans* tem sido constatada mais freqüentemente no suco de tomate, além de outros produtos, como frutas enlatadas (pêra, banana, molho de maçã, etc.). Esta bactéria desenvolve-se bem em alimentos ácidos apresentando pH em torno de 4,0, ou até menos, sendo bastante freqüente em produtos com pH entre 4,0 e 4,5.

No caso de *B. stearothermophilus*, embora as alterações provocadas em alimentos sejam bastante semelhantes às produzidas por *B. coagulans*, difere desta principalmente em relação à sua tolerância à acidez, não se desenvolvendo em alimentos com pH inferior a 5,3. Ocorre, freqüentemente, em produtos enlatados, como o milho, a ervilha, a batata, a cenoura, etc.

Alterações caracterizadas pela produção de ácidos e gases

O microrganismo envolvido neste tipo de deterioração é o *C. thermosaccharolyticum*.

Esta bactéria atua sobre carboidratos produzindo ácidos e gases, o que resulta no estufamento da lata. Entre os ácidos produzidos destaca-se o butírico, que provoca uma sensível alteração no aroma (odor butírico ou de queijo), tornando-o bastante desagradável. Observa-se, também, uma queda acentuada no pH do produto. Os alimentos em que tais bactérias ocorrem mais freqüentemente são produtos enlatados, como o milho, a ervilha, a batata, o espinafre e o aspargo, sempre com pH superior a 4,6.

Em níveis elevados de acidez (pH inferior a 4,6), esta bactéria carece de importância como agente de deterioração.

Alterações caracterizadas pela produção de gás sulfídrico (H₂S)

Neste caso, a bactéria responsável pela deterioração é o *D. nígrificans*, o qual apresenta atividade sobre aminoácidos sulfurados, resultando na formação de H₂S.

O gás sulfídrico pode-se combinar com o Fe, resultando na formação de sulfetos; em consequência, tanto o alimento como a superfície interna da lata adquirem uma coloração escura. Outra alteração bastante sensível é no aroma, particularmente desagradável (ovo deteriorado).

Não se observam variações acentuadas no pH do produto. São suscetíveis a este tipo de deterioração produtos enlatados, como ervilha, milho, cogumelos, arroz, etc., normalmente apresentando pH superior a 5,8. Em alimentos com pH inferior a 4,6, esta bactéria não apresenta importância como agente causal de deteriorações. A ocorrência de *D. nígrificans* em alimentos deteriorados é relativamente rara, dois motivos sendo aventados como explicação:

- normalmente, os alimentos apresentam um índice reduzido de contaminação de esporos desta bactéria;
- os esporos são menos termorresistentes, quando comparados com esporos de *B. stearothermophilus* e *C. thermosaccharolyticum* e, desta forma, mais facilmente destruídos.

3.2.4 Bolors, leveduras e bactérias não esporuladas

Não se considerando a deterioração oriunda de vazamento na lata, estes organismos, que apresentam pequena resistência térmica, não têm significado na deterioração de alimentos pouco ou meio ácidos, com exceção de leite condensado e carnes curadas, como presunto e "bacon".

As bactérias não esporuladas mais resistentes são as denominadas termodúricas, entre as quais destacam-se os enterococos, *Streptococcus thermophilus*, algumas espécies de *Lactobacillus* e *Micrococcus*, bem como *Microbacterium*. No entanto, considerando-se as temperaturas de esterilização dos alimentos, tais bactérias são facilmente destruídas. Entretanto, no leite condensado, o processamento térmico não é empregado, sendo a preservação baseada no teor elevado de açúcares (baixa Aa). Algumas leveduras osmofílicas podem se desenvolver fermentando os açúcares, causando estufamento intenso. *Aspergillus repens* pode causar a formação de "botões", na superfície do produto, consistindo de um coágulo vermelho-castanho.

No presunto curado enlatado, além de *Clostridium* e *Bacillus*, algumas bactérias não esporuladas podem causar defeitos, como os enterococos e algumas *Enterobacteriaceae* (conforme *Proteus*, etc.).

3.3 MICRORGANISMOS EM ALIMENTOS ÁCIDOS

3.3.1 Bactérias esporuladas

Dentre as bactérias esporuladas anaeróbias, *C. pasteurianum* é a mais importante. Esta bactéria é mesófila, com temperatura ótima de desenvolvimento entre 28-32°C. Apresenta intensa atividade fermentativa, com produção de ácido butírico, CO₂ e H₂, com estufamento pronunciado da lata. Tal tipo de deterioração tem sido observado em produtos enlatados, como abacaxi, peras, figos e tomate. Este tipo de bactéria pode se desenvolver em produtos com pH > 4,0 e, em condições comerciais, *C. pasteurianum* não foi observado em alimentos com pH < 3,7.

Entre os esporulados aeróbios, *B. coagulans* é mais destacado. Tal bactéria é termófila facultativa, do tipo "flat sour", de forma que a deterioração se caracteriza pela acidificação e sabor alterado. É bastante tolerante ao ambiente ácido, com crescimento ocorrendo em pH 4,2. É importante agente de deterioração do suco de tomate.

Recentemente, bactérias esporuladas termófilas acidófilas, aeróbias ou anaeróbias facultativas, pertencentes ao gênero *Alicyclobacillus* (gen. nov.), foram incriminadas como prováveis causadoras de deterioração, por alterações de odor e sabor de suco de laranja. Estas bactérias se desenvolvem na faixa de pH entre 5,8 e 2,5 e à temperatura superior a 35°C e inferior a 70°C.

Outras bactérias esporuladas não têm sido relatadas com frequência em produtos ácidos.

3.3.2 Bactérias não esporuladas

As bactérias mais importantes neste grupo estão incluídas entre os cocos ou bastonetes Gram+, imóveis, particularmente, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* e outras bactérias lácticas. Tais organismos desenvolvem-se melhor em baixas tensões de oxigênio (microaerófilos).

Algumas espécies são termodúricas (*S. faecalis*, *E. durans*, *S. thermophilus*, etc.). Nos gêneros *Micrococcus* e *Microbacterium*, também se encontram espécies com relativa resistência térmica. No entanto, todas as bactérias não esporuladas são facilmente controladas por tratamentos térmicos moderados, a temperaturas inferiores a 100°C, razão pela qual sua presença usualmente é indicativa de vazamentos, contaminações pós-pasteurização ou subprocessamento grosseiro.

As bactérias deste grupo têm sido associadas com deterioração de tomate, peras, etc. Tal deterioração pode acarretar intensa produção de gases - CO₂ pelas espécies heterofermentativas, ou apenas ácido, pelas espécies homofermentativas.

3.3.3 Leveduras

Devido à sua pequena resistência, as leveduras raramente estão envolvidas na deterioração de produtos sofrendo tratamento térmico, exceto em casos de subprocessamento grosseiro ou de vazamento.

No entanto, algumas leveduras são xerófilas, desenvolvendo-se em alimentos com baixa Aa, bem como todas elas são tolerantes à acidez. Nestas condições, sua presença pode ocorrer em alimentos enlatados, nos quais a preservação se baseia mais em baixa Aa ou elevada acidez. Frutas enlatadas, geléias, sucos de frutas, xaropes e leite condensado podem sofrer deterioração, geralmente com intensa produção de CO₂.

3.3.4 Bolors

Sua ocorrência e seu comportamento são bastante semelhantes aos das leveduras. Geléias, entre outros produtos, podem sofrer deterioração mesmo quando a concentração de açúcares é de 70%. Tem sido relatado que o ajuste do Brix, em geléias, a 70-72° na presença de 0,8-1% de ácidos, removerá completamente o risco de crescimento fúngico. Cepas de *Aspergillus*, *Penicillium* e *Citromyces* têm sido relatadas em geléias com concentração de açúcar de até 67,5%. A acidificação a pH 3,0 inibiu o crescimento dos dois primeiros e o tratamento térmico durante 1 minuto a 90°C destruindo-os a todos.

A espécie *Byssochlamys fulva*, um Ascomycete cujos ascósporos são bastante resistentes ao calor, é importante como agente de deterioração de frutas enlatadas ou em vidros. Tal fungo apresenta intensa atividade pectinolítica, causando desintegração de frutas; além disso, pode haver produção de CO₂ com estufamento da lata. A temperatura ótima é de 30-37°C, com grande resistência térmica dos ascósporos (resistem por 30min a 85°C). Os alimentos devem ser aquecidos a 87,8-90,6°C, no centro, para controlar esse fungo. Outra importante característica é a tolerância à baixa tensão de oxigênio, sendo capaz de suportar e crescer em vácuo de 20 libras.

Outra espécie de Ascomycete sendo isolada de geléias, ameixas secas, pimentas em pó, confeitos e bolos de frutas é a *Xeromyces bisporus*. Este fungo é provavelmente o organismo mais xerofílico conhecido, sendo capaz de crescer a Aa inferior a 0,61 e não superior a 0,97. Os ascósporos de *X. bisporus* também são resistentes ao calor, com um valor D_{80°C} = 2,7 - 3,6 min e z = 16°C, sendo ainda capaz de crescer em presença de 1% de O₂ e 95% de CO₂.

4. PRINCIPAIS CAUSAS DE DETERIORAÇÃO MICROBIANA DE ALIMENTOS

Sem dúvida, problemas de natureza microbiológica são os principais responsáveis por processos de deterioração de alimentos enlatados. Os dados contidos na Tabela 1 especificam resultados obtidos em diferentes países a respeito das causas principais desses processos.

TABELA 1. Principais causas de deterioração de alimentos enlatados.

Causa	Origem dos dados (%)		
	Austrália (1950-1977)	Estados Unidos (1960-1977)	Inglaterra (1973-1983)
Subprocessamento térmico	25,7	20,0	6,0
Termófilos	-	14,0	26,0
Vazamento	31,2	60,0	62,0
Pré-processamento	1,8	4,0	2,5

Fonte: CAMPDEN FOOD PRESERVATION RESEARCH ASSOCIATION (1985).

4.1. SUBPROCESSAMENTO TÉRMICO

Na deterioração devida ao subprocessamento, há um número limitado de microrganismos que pode se desenvolver. Esse tipo de deterioração é devido a um tratamento térmico inadequado, mas geralmente suficiente para destruir formas vegetativas de bactérias, bolors e leveduras. Nestas condições, os principais organismos capazes de sobreviver em alimentos de baixa acidez são as bactérias esporuladas, mesófilas ou termófilas, aeróbias ou anaeróbias, em função da elevada resistência térmica dos seus esporos quando presentes nos alimentos, conforme é evidenciado pelos dados da Tabela 2.

TABELA 2. Resistência térmica relativa de esporos de bactérias.

Espécie		D ₁₀₀ (min)
	A	10-28
<i>C. botulinum</i>	B	7-14
	E	0,01
	F	0,01-0,04
<i>C. sporogenes</i>		80- >100
<i>C. thermosaccharomicum</i>		400
<i>C. perfringens</i>		0,3-18
<i>C. butyricum</i>		0,4-0,8
<i>D. nigrificans</i>		< 480
<i>B. stearothermophilus</i>		100-1.600
<i>B. coagulans</i>		20-30
<i>B. licheniformis</i>		13,5
<i>B. cereus</i>		3-200

A não ser que o material tenha sido grosseiramente subprocessado, geralmente encontram-se apenas bactérias esporuladas no produto deteriorado. Já em produtos ácidos, submetidos a um tratamento térmico menor (pasteurização) leveduras, bactérias esporuladas ou não e acidófilas podem ser encontradas. Os microrganismos não ácidos tolerantes, porventura constatados, não têm significado, uma vez que não apresentam condições de desenvolvimento no produto, conseqüentemente não vindo a causar deterioração. Neste grupo está incluída a grande maioria das bactérias esporuladas.

Na investigação da deterioração por subprocessamento, dois aspectos devem ser nitidamente diferenciados:

- a deterioração pode ser devida a uma deficiência no tratamento térmico, resultando na sobrevivência de esporos viáveis, mesmo quando as demais condições do processamento sejam adequadas (higiene e limpeza dos equipamentos, etc.);
- o tratamento térmico fornecido é correto, mas, devido a falhas de processamento, há um aumento excessivo no grau de contaminação (por exemplo, termófilos), de modo que o tratamento térmico se torna insuficiente.

Logicamente, em ambos os casos, o subprocessamento é evidenciado, mas a solução do problema é alcançada de maneira diferente.

A primeira etapa na investigação da deterioração por subprocessamento consiste na identificação do agente causal. Os testes de resistência térmica do organismo isolado do alimento em estudo permitem ajustes no tratamento térmico empregado.

Os principais aspectos a ser investigados são:

- a) Verificação das condições de tratamento térmico:
- verificar os termômetros e manômetros da autoclave;
 - verificar as condições de exaustão da autoclave para a perfeita remoção do ar;
 - verificar as válvulas de água da autoclave. Vazamentos podem causar o resfriamento das latas;
 - verificar a disposição das latas na autoclave;
 - verificar se não há enchimento excessivo ou deficiente das latas.
- b) Verificar o grau de contaminação da matéria-prima. Particularmente se produtos como açúcar, amido, farinhas ou condimentos são empregados na formulação do produto, a contaminação por termófilos é bastante provável. Vegetais congelados também podem apresentar elevada contaminação por esporos de mesófilos ou termófilos. A presença de organismos anaeróbios relaciona-se mais com a matéria-prima do que com o equipamento.
- c) Equipamentos: Determine se equipamentos de madeira estão em contacto com o alimento. Correias e esteiras também podem introduzir contaminação. Peças de madeira não devem ser utilizadas em equipamentos que entrem em contacto com o alimento. Tachos de branqueamento, misturadores, reservatórios, etc. são focos de esporulados "flat-sour".

No caso de produtos ácidos, não existem dados suficientes para se estabelecer tempos e temperaturas de processamento, uma vez que tais produtos variam muito na acidez, textura, teor de açúcares no xarope, tipo de cozimento, etc. Como recomendação importante preconiza-se a verificação da temperatura no centro das latas, na recravadeira e no final do processo, observando-se que:

- produtos aquecidos por condução, menor temperatura (ponto frio) encontra-se no centro da lata;
- produtos aquecidos por convecção, menor temperatura (ponto frio) encontra-se a meia polegada do fundo da lata.

No caso de se utilizar o sistema "hotfill", verificar o processo de pré-esterilização, a temperatura do produto após enchimento e o tempo em que as latas são mantidas após fechamento e antes do resfriamento.

4.2. DETERIORAÇÃO DEVIDA A RESFRIAMENTO INADEQUADO (DETERIORAÇÃO POR TERMÓFILOS)

Uma vez que a resistência térmica de esporos de termófilos é tal que o processamento térmico necessário para a sua completa destruição resulta em prejuízo à qualidade do alimento, seu controle reside, primeiramente, na eliminação ou redução da infecção, no rápido resfriamento e no armazenamento a temperaturas relativamente baixas.

Termófilos "flat sour" reproduzem-se rapidamente no intervalo de 48,9-71,1°C e a falha no resfriamento rápido, após o tratamento térmico, pode resultar em séria deterioração. A prática usual consiste em resfriar as latas até 35°C, de forma que elas retenham calor suficiente para secá-las rapidamente; porém, se elas são empilhadas e encaixotadas a essa temperatura, "flat sour" pode desenvolver-se devido ao resfriamento lento. Portanto, latas recém-processadas devem ser empilhadas em pilhas pequenas, em armazéns frescos e bem ventilados.

Em linhas gerais, a redução da incidência de termófilos "flat sour" pode ser alcançada através dos seguintes procedimentos:

- redução do número de esporos contaminantes, por processamento controlado e uso de tratamentos térmicos máximos permitidos de forma a garantir a qualidade do produto;
- armazenamento à temperatura adequada (40°C) por várias semanas;
- rigorosas especificações para os limites de contaminação das matérias-primas e ingredientes por esporos de termófilos;
- controle rigoroso de pontos críticos de proliferação de termófilos na linha de produção.

4.3. VAZAMENTO

A microflora de vazamento em alimentos que sofrem tratamento térmico intenso caracteriza-se normalmente pela presença de microrganismos sem grande resistência térmica, como é o caso de bactérias não esporuladas, na forma de bastonetes ou cocos, leveduras, etc. Às vezes, mesmo em casos de vazamento, a microflora presente pode ser constituída de apenas um tipo de bactéria, esporulada ou não. Mas, usualmente, a microflora é variada.

As principais causas de reinfecção de latas após o tratamento térmico são:

- qualidade da recravação;
- diâmetro, formato, comprimento do local de vazamento e ação capilar neste local;
- número de bactérias na região externa adjacente à recravação (água de refriamento);
- período de manutenção das latas no ambiente aquoso contaminado;
- deformações reversíveis e irreversíveis na região de recravação, devido a impactos enquanto há umidade;
- vácuo interno da lata;
- variações súbitas da pressão externa durante o processamento.

A Figura 1 mostra o esquema detalhado da operação de recravação da lata, bem como as principais medições que devem ser feitas no sentido de avaliar a sua qualidade.

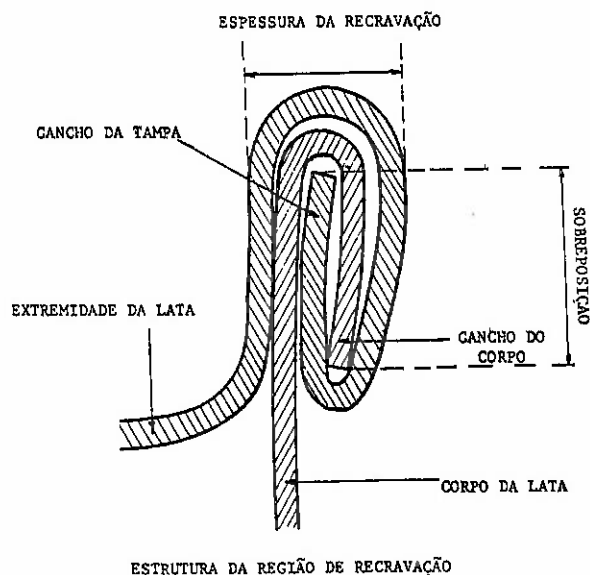


FIGURA 1. Representação esquemática da operação de recravação de latas.

Alguns destes parâmetros, particularmente a extensão da sobreposição e o grau de aperto são fundamentais no sentido de minimizar problemas de reinfecção, conforme é demonstrado pelos dados da Tabela 3 (PUTT *et al.*, 1972).

TABELA 3. Influência da qualidade da recravação na frequência da reinfecção das latas.

Teste	Gancho do corpo (mm)	Sobreposição (mm)	Aperto	% de reinfecção
1	1,38 1,45	0,85 1,05	0	28,0
			1	82,0
			2	98,0
2	1,75 1,90	1,10 1,20	0	7,0
			1	38,0
			2	90,0
3	1,90 2,10	1,25 1,50	0	5,0
			1	11,0
			2	35,0
4	2,15 2,20	1,45 1,55	0	0,5
			1	2,0
			2	8,0

Aperto: 0 = alto; 1 = normal; 2 = fraco.

Dados experimentais têm demonstrado que a qualidade microbiológica da água de resfriamento é essencial no sentido de minimizar os riscos de recontaminação por vazamento. Esta afirmativa é corroborada pelos dados contidos na Tabela 4 (PUTT *et al.*, 1972).

TABELA 4. Influência da contaminação bacteriana na água de resfriamento de latas no índice de deterioração.

Nº bactérias por ml	% de latas deterioradas
10^2	2
10^3	8
10^4	18
10^5	30
10^6	48
10^8	70

Com base nesses comentários, algumas práticas são fundamentais no sentido de se minimizar o problema de reinfecção das latas após o tratamento térmico. Entre elas poderiam ser destacadas as seguintes:

- controle rigoroso da operação de recravação das latas;
- manutenção de baixo nível de contaminação microbiana na água de resfriamento das latas, garantindo-se um teor mínimo detectável de cloro residual livre na água que deixa a autoclave ou o tanque de resfriamento das latas;
- manuseio extremamente cuidadoso das latas, evitando-se choques, danos ou deformações que poderão comprometer a hermeticidade da região de recravação, principalmente quando as latas ainda estão úmidas;
- higiene rigorosa de todos os equipamentos (esteiras, etc.) que entram em contacto com as latas após a esterilização;
- controle rigoroso das operações de enchimento das latas, garantindo um espaço-livre adequado e da exaustão, assegurando um vácuo final correto, prevenindo o problema de dilatação excessiva durante a esterilização e um vácuo muito elevado após o resfriamento (podendo resultar em "panelling");
- controlar adequadamente a temperatura de resfriamento das latas após a esterilização (ao redor de 40°C); temperaturas muito elevadas poderão causar problemas de deterioração por termófilos e muito baixas irão gerar ferrugens externas e aumentar o risco de penetração microbiana nas latas.

4.4 DETERIORAÇÃO PRÉ-PROCESSAMENTO

A deterioração deste tipo é devido a falhas durante o processamento, havendo desenvolvimento bacteriano no alimento durante a preparação e antes da esterilização. Um exemplo da extensão que o problema pode ter é realçado pelos dados obtidos na preparação de carnes de galinha, nos quais constatou-se que a contagem total de bactérias aumentava 520 vezes e a de coliformes 1.600 vezes, durante um intervalo de 145 minutos entre o cozimento e a margem da carne.

Particularmente em climas quentes, o desenvolvimento de bactérias pode ocorrer se há uma demora excessiva entre o enchimento das latas e o tratamento térmico. Isso é particularmente importante em alimentos enchidos a frio, como no caso de pastas de carne e similares. O tratamento térmico posteriormente irá esterilizar o produto, mas a liberação de gases produzidos pelos organismos antes do tratamento térmico pode causar o estufamento das latas.

É importante a diferenciação da deterioração pré-processamento e da auto-esterilização; nesta última, o produto apresenta sinais visíveis de deterioração, sem que microrganismos viáveis possam ser isolados. Isto ocorre devido à morte das células, causadas pelo acúmulo de metabólitos ou de ácidos no meio, em consequência do desenvolvimento microbiano. Neste caso, o crescimento da bactéria ocorre após o tratamento térmico, ao passo que na deterioração pré-processamento, o desenvolvimento é anterior ao tratamento térmico, seguido de morte das células de esterilização.

Aspectos importantes a considerar no estudo da deterioração pré-processamento:

- a) Os alimentos são aquecidos quando em processamento ou apenas no enlatamento? Qual o tempo e temperatura em trânsito?
- b) Qual o tempo das operações de lavagem, branqueamento, enchimento e exaustão?
- c) Há alguma demora apreciável entre as diferentes etapas do processamento, por exemplo, no branqueamento e enchimento, enchimento e exaustão, etc.?

Atrasos desnecessários devem ser eliminados, porque, em certas condições, considerável multiplicação de bactérias pode ocorrer em apenas uma hora.

Às vezes, é importante efetuar-se o controle bacteriológico de amostras na linha de processamento. Contagens totais, usando-se glicose-triptona-ágar (GTL) são usualmente satisfatórias. As amostras não devem ser aquecidas antes do plaqueamento, uma vez que não se estudam esporulados, mas apenas o aumento geral da microflora. As placas devem ser incubadas a 30°C durante 4 dias, e a 50°C durante 2 dias.

A Figura 2 resume as principais alterações normalmente evidenciadas nos processos de deterioração de alimentos enlatados.

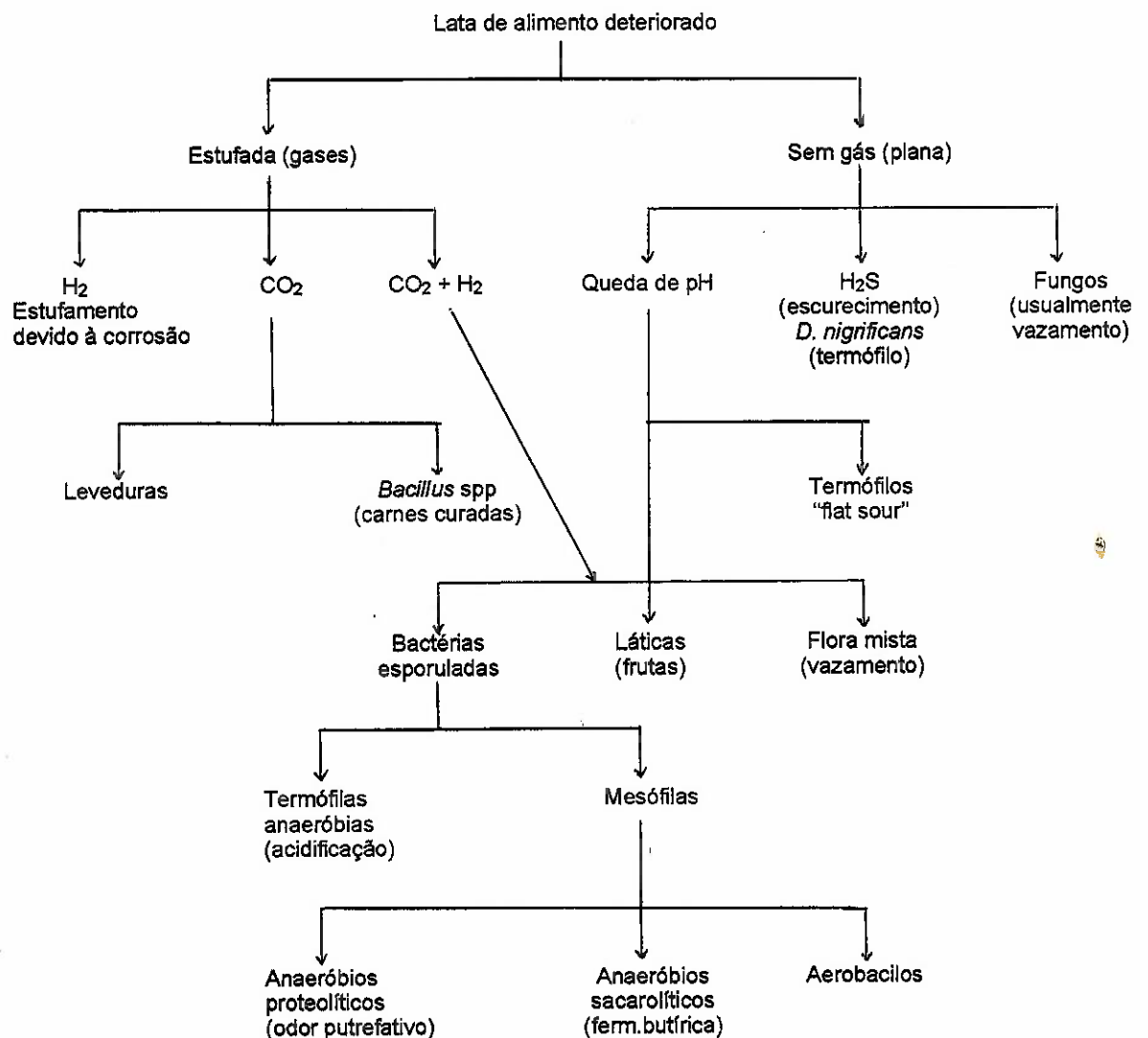


FIGURA 2. Causa provável da deterioração de alimentos enlatados.

5. CONTROLE DE DESENVOLVIMENTO MICROBIANO EM ALIMENTOS PELO USO DO CALOR

A utilização de tratamentos térmicos, geralmente sob a forma de calor úmido, constitui-se numa das técnicas mais empregadas visando a assegurar a estabilidade microbiológica ou mesmo a esterilidade comercial dos alimentos.

Ao se discutir os fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam o desenvolvimento microbiano em alimentos, evidenciou-se que a microbiota capaz de proliferar e deteriorar os produtos, ou mesmo causar riscos à saúde pública, é grandemente influenciada pelas características inerentes aos alimentos ou fatores ambientais externos. Nestas condições, a intensidade do tratamento térmico aplicado aos vários alimentos irá depender fundamentalmente dos tipos de microrganismos neles presentes, da sua capacidade de proliferação e das condições ambientais que irão prevalecer durante o armazenamento do alimento, até seu consumo final.

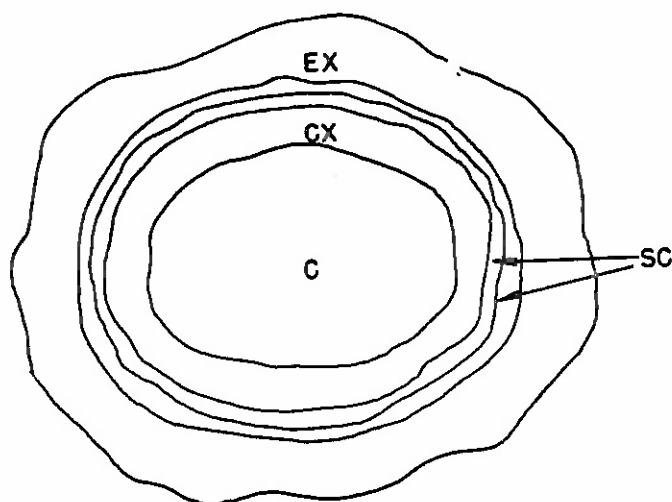
Em função destas condições, poderiam ser diferenciados dois tipos básicos de tratamentos térmicos aplicáveis aos alimentos:

a) Processos de esterilização comercial, para os alimentos de baixa acidez ($\text{pH} > 4,6$, $\text{Aa} > 0,85$) e armazenados a temperaturas ambientes, visando a assegurar a completa destruição de bactérias patogênicas ou daqueles microrganismos capazes de deteriorar os produtos nas condições normais de armazenamento (geralmente temperaturas abaixo de 40°C). Uma vez que muitos destes microrganismos deterioradores ou patogênicos são esporogênicos, o tratamento térmico deverá assegurar a destruição de esporos bacterianos, formas altamente resistentes à ação de agentes físicos e químicos, sendo, portanto, necessário o emprego de altas temperaturas (geralmente na faixa de 110° a 120°C) somente conseguidas em autoclaves, sob pressão.

b) Processos de pasteurização, sendo esta terminologia aplicada aos tratamentos térmicos menos intensos, sempre a temperaturas inferiores a 100°C e, portanto, sob pressão atmosférica normal. Estes processos são destinados aos alimentos que não oferecem condições para a proliferação das bactérias esporogênicas (por exemplo, alimentos ácidos ou muito ácidos, com pH inferior a 4,6), ou alimentos que são submetidos posteriormente à refrigeração, congelamento, concentração e desidratação, portanto, não oferecendo condições para a multiplicação das formas microbianas mais resistentes, que sobreviveram à pasteurização (STUMBO, 1973).

Sendo os esporos bacterianos as formas mais resistentes ao calor, seria interessante analisar alguns aspectos sobre sua estrutura. De início, cabe lembrar que, ao contrário dos bolores e leveduras, onde os esporos estão intimamente ligados aos processos de reprodução sexual ou assexual, nas bactérias eles representam apenas uma forma de resistência ou um estágio de dormência, definido por alguns autores como estágio de criptobiose (STANIER *et al.*, 1976). A formação de esporos está sempre associada com a existência de situações ambientais ou de substratos desfavoráveis para a multiplicação e crescimento normais das bactérias. Em alimentos, as bactérias esporogênicas dos gêneros *Bacillus*, *Clostridium* e *Desulfotomaculum* são as de ocorrência mais comum, seja como deterioradores ou patógenos eventuais. De acordo com RUSSEL (1982), um esporo bacteriano típico apresentaria a estrutura conforme a Figura 3, que resumidamente poderia ser assim descrita:

- região central ou protoplasto, que, em termos de componentes macrocelulares, seria praticamente idêntica a uma célula normal. A maioria das enzimas celulares, assim como o DNA, RNA e a maioria dos minerais, como cálcio, potássio, magnésio, manganês e fósforo estão aí contidos. No entanto, ao contrário das células vegetativas, a região central apresenta um elevado teor de ácido dipicolínico, normalmente associado com o cálcio e que está envolvido, provavelmente, com a maior resistência térmica dos esporos.



EX = exosporo;
 SC = capas do esporo;
 CX = córtex;
 C = região central.

FIGURA 3. Um esporo bacteriano típico.

Envolvendo o protoplasto, existe uma camada denominada córtex, composta principalmente de péptidoglicano ou mucopéptido, similar, mas não idêntico, ao encontrado em células vegetativas; esta camada parece ter uma participação importante na resistência térmica dos esporos.

O córtex, por sua vez, é envolvido pelas chamadas capas de esporo, que correspondem a aproximadamente 50% do volume do esporo. Estas capas são constituídas principalmente de proteínas e menores teores de carboidratos e lípidos, sendo ricas ainda em fósforo, podendo ser constatadas duas ou três capas, dependendo da espécie de bactéria considerada. Estas capas têm um papel importante na resistência dos esporos a certos agentes antibacterianos como a lisozima, por exemplo.

Finalmente, em alguns esporos, entre eles os de *B. cereus*, uma capa externa adicional, denominada exosporo, é por vezes constatada, sendo constituída provavelmente de proteínas, ao lado de teores significativos de lípidos e glicose.

O processo de esporulação, que normalmente ocorre na fase final do crescimento exponencial das células, ou quando elas são transferidas para meios deficientes, ou em condições ambientais desfavoráveis, é altamente influenciado por fatores como a temperatura, pH, disponibilidade de oxigênio, presença de manganês, compostos nitrogenados e carboidratos (RUSSELL, 1982).

A avaliação da resistência térmica de células vegetativas e de esporos é fundamentada na determinação de dois parâmetros, os denominados valores D e z (STUMBO, 1973, RUSSELL, 1982, PFLUG, 1982).

O valor D, também denominado razão letal, constante de razão letal ou tempo de redução decimal, corresponde ao tempo, em minutos, a uma determinada temperatura, capaz de causar uma redução em 90% no número de células ou esporos presentes numa suspensão (Figura 4).

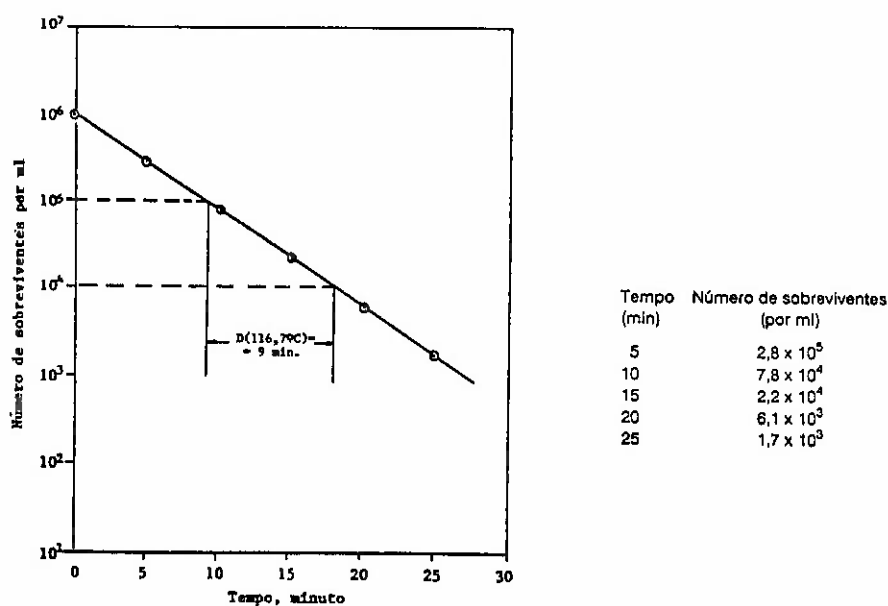


FIGURA 4. Cálculo do valor D de uma suspensão de esporos de *Bacillus subtilis* 5230, aquecida a $116,7^{\circ}\text{C}$.

Uma vez que o valor D varia com a temperatura, ele é sempre referido especificando-se a temperatura utilizada na determinação, por exemplo, D_{100} , D_{70} , D_{120} , etc.

O valor z corresponde ao intervalo da temperatura que ocasiona uma variação de 10 vezes no valor D, ou seja, 1 ciclo logarítmico (Figura 5).

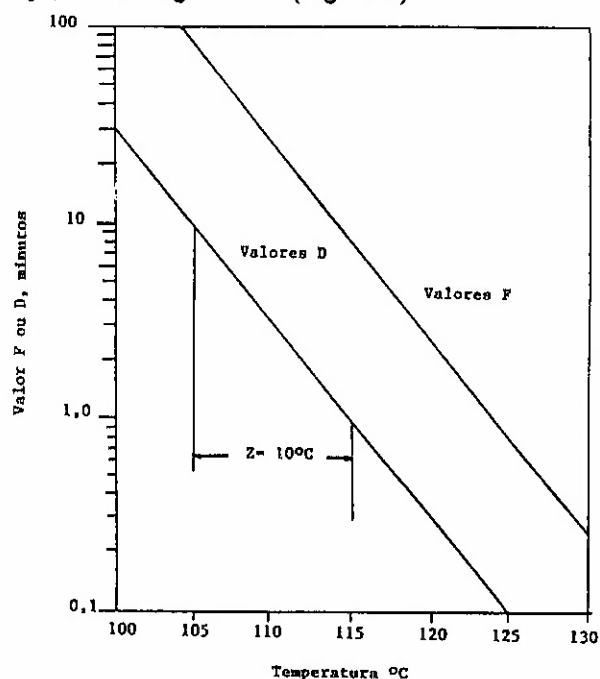


FIGURA 5. Determinação do valor z, utilizando-se a Curva de Resistência Térmica ($\log D$ vs. T) ou a Curva de Destruição Térmica ($\log F$ vs. T).

Os esporos de bactérias termófilas são os mais resistentes ao calor, seguidos de algumas mesófilas anaeróbias, particularmente putrefativas anaeróbias, incluindo *Clostridium botulinum*. As células vegetativas de bactérias e a grande maioria dos bolores e leveduras evidenciam pouca resistência (STUMBO, 1973). No entanto, PUTT, DE JONG (1982) verificam que os ascósporos de algumas leveduras do gênero *Saccharomyces* evidenciam uma resistência térmica 50 a 100 vezes maior que as das células vegetativas.

Na Tabela 5 são mencionados dados de valores D e z de esporos e células vegetativas de bactérias, bolores e leveduras.

TABELA 5. Valores D e z de esporos e células vegetativas de bactérias, bolores e leveduras.

Microrganismos	Temperatura de teste (°C)	Valor D (min)	Valor z (°C)
1. Esporos			
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	121,1	4,0-5,0	7,7-12,2
<i>C. thermosaccharolyticum</i>	121,1	3,0-4,0	8,8-12,2
<i>Desulfotomaculum nigrificans</i>	121,1	2,0-3,0	8,8-12,2
<i>Clostridium</i> PA 3679	121,1	0,1-1,5	7,7-10,0
<i>Clostridium botulinum</i> A e B	121,1	0,1-0,2	7,7-10,0
<i>C. botulinum</i> E	82,2	0,1-3,0	5,0-8,8
<i>C. perfringens</i>	100	0,31-17,6	6,0-17,2
<i>Bacillus cereus</i>	121	0,003-2,37	7,9-9,9
<i>Clostridium pasteurianum</i>	100	0,1-0,5	6,6-8,8
<i>Clostridium butyricum</i>	85	12,0-23,0	
2. Células vegetativas de bactérias			
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	65,5	0,5-1,0	4,4-5,5
<i>Brucella</i> spp	65,5	0,1-0,2	4,4-5,5
<i>Coxiella burnetii</i>	65,5	0,5-0,6	4,4-5,5
<i>Salmonella</i> spp	65,5	0,02-0,25	4,4-5,5
<i>Staphylococcus aureus</i>	65,5	0,2-2,0	4,4-6,5
<i>Streptococcus pyogenes</i>	65,5	0,2-2,0	4,4-6,6
<i>Lactobacillus</i> spp	65,5	0,5-1,0	4,4-5,5
3. Bolores e leveduras			
Células vegetativas e micélio	65,5	0,5-3,0	4,4-6,6
Ascósporos de:			
<i>Zygosaccharomyces baillii</i>	60,0	7,0-14,2	4,0-5,0
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	60,0	8,2-22,2	4,5-5,5

Fonte: STUMBO, 1973, RUSSELL, 1982, PUTT, DE JONG (1982).

STUMBO (1973) e STUMBO *et al.* (1975) definiram as condições de esterilização comercial a que devem ser submetidos os alimentos de baixa acidez, de forma a eliminar os riscos da presença de esporos viáveis de bactérias patogênicas ou deterioradoras. Estas condições poderiam ser assim resumidas:

- a) Condições mínimas de esterilização comercial para assegurar a ausência de esporos viáveis de *C. botulinum* (critério 12D)

Assumir:

- Esporos de *C. botulinum* estão presentes no alimento, sendo a contaminação inicial de 1 esporo/g.
- Estes esporos apresentam valor $D_{121,1^{\circ}\text{C}} = 0,2\text{min}$ e $z = 7,7^{\circ}\text{C}$.

A probabilidade de sobrevivência não poderá ser superior a 10^{-12} .

O cálculo da letalidade integral do processo será efetuado empregando a fórmula $F = D (\log V - \log 10^{-12})$, sendo que, à temperatura de $121,1^{\circ}\text{C}$ e $D = 0,20\text{min}$ (*C. botulinum* tipo A), $F = F_0$. Dessa forma:

F_0 = letalidade integral, expressa em minuto a $121,1^{\circ}\text{C}$

$D = 0,20\text{min}$

V = volume de recipiente contendo o alimento, expresso em cm.

Assim, no caso de uma lata com volume de 360cm^3 e assumindo uma contaminação de 1 esporo/ cm^3 haveria 360 esporos/lata.

Neste exemplo:

$$F_0 = 0,20 (\log 360 - \log 10^{-12}) = 0,20 (2,556 + 12) = 2,91$$

Nestas condições, para assegurar a destruição de esporos de *C. botulinum* nos níveis acima especificados, o tratamento térmico aplicado às latas deveria ser equivalente a 2,91min de aquecimento a $121,1^{\circ}\text{C}$.

- b) Condições de tratamento para assegurar a destruição de esporos de bactérias deterioradoras mesófilas.

Assumir:

- Clostrídios putrefativos anaeróbios estão presentes no alimento e a contaminação é de 1 esporo/g.
- Estes esporos apresentam valor $D_{121^{\circ}\text{C}} = 1,0 - 1,5\text{min}$ e $z = 10^{\circ}\text{C}$.

A probabilidade de sobrevivência não poderá ser superior a 10^{-4} .

Aplicando um raciocínio análogo ao apresentado no caso de *C. botulinum* e considerando o mesmo tamanho da lata, ter-se-ia:

Para $D_{121,1^{\circ}\text{C}} = 1,0\text{min}$

$$F = 1,0 (\log 360 - \log 10^{-4}) = 1,0 (2,556 + 4) = 6,55$$

Para $D_{121,1^{\circ}\text{C}} = 1,5\text{min}$

$$F = (2,556 + 4) = 9,83$$

Observa-se, assim, que o tratamento térmico deverá ser muito mais intenso do que no caso de *C. botulinum*, em face à maior resistência térmica dos esporos dos outros clostrídios putrefativos anaeróbios, particularmente *Clostridium* PA 3679.

No caso do controle de esporos de termófilos, um valor básico de letalidade do processo ainda não foi bem definido. STUMBO (1973) menciona que alimentos enlatados, submetidos à prova de incubação a altas temperaturas e apresentando não mais que 1% de deterioração, irão revelar menos que 0,001% de alterações quando enviados ao comércio.

Nestas condições, assumindo uma contaminação inicial de 1 esporo/g, valores $D_{121,1^{\circ}\text{C}} = 4,0\text{min}$ e latas com 360cm^3 de capacidade, ter-se-ia como letalidade mínima $F = 4,0$ ($\log 360 - \log 10^{-2}$) = $4,0 (2,556 + 2) = 18,2$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHTON, D.H. Thermophilic anaerobes. In: SPECK, M.L. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public Health Association, 1976. p.263-9.
- BANWART, G.J. **Basic food microbiology**. Westport: [s.l.], 1979.
- CAMPDEN FOOD PRESERVATION RESEARCH ASSOCIATION. **Examination of Suspected Spoiled Cans**. England: The Campden Food Preservation Research Association, 1985. (Technical Manual, 9).
- CANADA, J.C., DRYER, J.M., MAUNDER, D.T. Canned foods: test for commercial sterility. In: SPECK, M. L. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public Health Association, 1976. p.620-631.
- FOOD PROCESSORS INSTITUTE. **Alimentos enlatados, princípios de controle de processamento térmico, acidificação e avaliação do fechamento de recipientes**. Traduzido pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas: ITAL, 1983. 377p. (Tradução de Canned Foods -Principles of Thermal Process Control, Acidification and Container Closure Evaluation).
- FRAZIER, W.C., WESTHOFF, D.C. **Food microbiology**. 3 ed. New York: Mc. Graw Hill Book Company, 1978.
- HERSON, A.C., HULLAND, E.D. **Canned foods: thermal processing and microbiology**. 7 ed. Edinburgh, England: Churchill Livingstone, 1980.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS-ICMSF. **Microorganisms in Foods.4. Application of the hazard analysis critical control point (HAPCC)**. System to ensure microbiological safety and quality. Oxford: Blackwell Scientific Publ., 1988.
- MAUNDER, D.T. Thermophilic flat sour sporeformers. In: SPECK, M.L. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public Health Association, 1976. p.254-262.
- NATIONAL CANNERS ASSOCIATION RESEARCH LABORATORIES. **Laboratory manual for food canners and processors**. 1. Microbiology and processing. Westport: AVI, 1968. 336p.
- PFLUG, I.J. **Textbook for and introductory course in the microbiology and engineering of sterilization processes**. 5 ed. Minneapolis: Environmental Sterilization Lab., 1982.
- PITT, J.I., HOCKING, A.D. **Fungi and food spoilage**. Australia. Academic Press. 1985. 413p. (Series - Food Science and Technology).
- PUTT, H.M.C., DE JONG, J. The heat resistance of ascospores of four *Saccharomyces* spp. isolated from spoiled heat processed soft drinks and fruit product. **Journal of Applied Bacteriology**, v.52, p.235-43, Baltimore, 1982.
- _____, VAN DOREN, H., WARNER, W.R.P, KRUISWIJK, J.T. The medianism of microbiological leaker spoilage of canned foods. A review. **Journal Applied Bacteriology**, v.31, p.7-27, Baltimore, 1972.
- RUSSEL, A. D. **The destruction of bacterial spores**. London: Academic Press, 1982.
- STANIER, R.Y., ADELBERG, E.A., INGRAHAM, J. **The Microbial World**. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1976.
- STUMBO, C.R. **Thermobacteriology in food processing**. 2 ed. New York: Academic Pres, 1973.
- _____, PUROHIT, K.S., RAMAKRISHNAN, T.V. Thermal process lethality guide for low acid foods in metal containers. **Journal of Food Science**, v.40, p.1316-23, Chicago, 1975.

**SISTEMA DE ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS
CRÍTICOS DE CONTROLE APLICADO À INDÚSTRIA
DE ALIMENTOS TERMICAMENTE PROCESSADOS
EMBALADOS HERMETICAMENTE E ESTÁVEIS EM
TEMPERATURA AMBIENTE**

Rodrigo Otávio TEIXEIRA NETO
Valéria C.A. JUNQUEIRA

1

1. INTRODUÇÃO

A primeira aplicação prática que se tem notícia de APPCC foi o programa da NCA/FDA¹ conhecido como "Better Process Control", que foi redigido na forma de uma Norma de Boa Prática de Manufatura (21 CFR 128b, agora recodificada como 21 CFR 113) intitulada "Alimentos de baixa acidez processados termicamente e embalados em recipientes fechados hermeticamente" e que entrou em vigor em janeiro de 1973, com modificações feitas em maio de 1979.

Paralelamente a esta regulamentação, num esforço conjunto de universidades, FDA e pessoal da indústria, foram organizados cursos de "Better Process Control" que foram iniciados nos EUA em 1972 e se destinavam ao treinamento de supervisores de sistemas de processamento térmico, sendo certificadas cerca de 15.000 pessoas neste sistema. No Brasil, estes cursos tiveram início em 1974, sob a coordenação do ITAL, tendo sido certificadas cerca de 700 pessoas.

O espírito da norma ensinada no curso é de que a responsabilidade pela fabricação de produtos seguros repousa nos empregados da indústria de alimentos, individualmente. Por isso, os operadores de sistemas de processamento térmico e de sistemas de embalagem devem trabalhar sempre sob a supervisão de uma pessoa que tenha freqüentado e sido certificada neste curso.

O objetivo geral do curso é identificar os pontos críticos de controle no processo de enlatamento, explicando seu significado e sublinhando a importância de satisfazer as exigências de pontos críticos sem desvio pela: 1) fixação de pontos críticos no processamento térmico de alimentos de baixa acidez e alimentos acidificados embalados em recipientes hermeticamente fechados; 2) ênfase dada à organização de um programa para o controle efetivo dessas operações; 3) ênfase ao fato crítico de que em determinadas operações não pode haver desvio do procedimento prescrito; e 4) ênfase dada à importância de formas próprias de registro e arquivo como mecanismo de controle e forma de documentar adequadamente os procedimentos operacionais.

As normas da FDA e do FSIS/USDA² exigem o registro dos estabelecimentos que processam alimentos de baixa acidez ou acidificados, sendo que a FDA exige o registro de cada processo, ou seja, um registro para cada produto, cada tamanho e tipo de embalagem. O FSIS/USDA, que cuida dos produtos de origem animal, não exige o registro dos processos individualmente, mas os programas de processo devem estar disponíveis aos seus inspetores sob requisição, incluindo detalhes de procedimento para medição, freqüência das medidas, controle e registro de fatores críticos. Qualquer mudança tem que receber a autorização do seu inspetor.

Todas as informações fornecidas à FDA e ao FSIS/USDA são consideradas confidenciais e, portanto, são mantidas secretas.

Outros pontos relevantes nestas normas são: 1) os lotes distribuídos para consumo que apresentarem problemas com risco à saúde do consumidor têm que ser comunicados às autoridades sanitárias; 2) a empresa tem que ter disponível um procedimento corrente de recolhimento do lote de produto com problema; 3) os supervisores de operações críticas do processamento térmico e de inspeção de fechamento dos recipientes têm que ter completado curso específico para este fim; 4) a definição de alimentos de baixa acidez, de alimentos acidificados, de esterilidade comercial e de autoridade em processamento; 5) elas determinam que o processo

1 - NCA - National Canners Association, atualmente NFPA - National Food Processor Association/FDA - Food and Drug Administration.

2 - FSIS/USDA - Food Safety and Inspection Service of the United States Department of Agriculture.

programado tem que ser definido por uma autoridade em processamento; 6) dão detalhes de desenho, controles e instrumentação apropriados aos sistemas mais comuns de autoclavagem; 7) descrevem práticas necessárias nas operações destes sistemas visando garantir a segurança; 8) definem a necessidade de inspeção periódica do fechamento dos recipientes; e 9) especificam a necessidade da guarda (por 3 anos) e inspeção dos registros, detalhando ações a serem tomadas em casos de desvio de processo.

2. DEFINIÇÕES

A "análise de perigos" compreende uma avaliação de todos os procedimentos ou processos envolvidos no beneficiamento de matérias-primas, transformação em produtos e sua distribuição, visando identificar e controlar pontos específicos de contaminação, bem como definir e controlar variáveis críticas de processo. Implica ainda no registro e análise freqüente destas ações.

Por outro lado, "pontos críticos de controle" seriam os locais ou processos, os quais, caso não sejam adequadamente controlados, poderão dar origem a perigos para a segurança do produto.

De acordo com ICMSF (1988), os pontos críticos de controle podem ser divididos em:

- CCP₁ - aqueles nos quais uma operação bem executada e controlada pode eliminar por completo um risco microbiano;
- CCP₂ - aqueles nos quais uma operação bem executada pode minimizar, mas não eliminar um risco.

3. ETAPAS NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE APPCC

- Identificação de perigos e determinação da sua severidade e riscos.
- Determinação dos pontos críticos de controle.
- Estabelecimento de medidas de controle e critérios para garantir o controle.
- Monitoramento dos pontos críticos de controle e registro dos dados.
- Aplicação de medidas corretivas quando os resultados do monitoramento indicam que os critérios não estão sendo atingidos.
- Verificação de que o sistema funciona de acordo com o planejamento estabelecido.

4. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE APPCC

Com base nas definições e critérios citados, a Figura 1 e a Tabela 1 evidenciam a aplicação do sistema APPCC no controle da qualidade de conservas.

4.1 RECEPÇÃO E TRATAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA

Esta é uma etapa crítica de todo o processamento, onde deve ser exercido um controle da contaminação microbológica e/ou por outros materiais. Cada matéria-prima deve ter especificações quanto aos parâmetros de maior importância para o seu controle, como, por exemplo: teor de sólidos, acidez, pH, ponto de maturação, cor, maciez, frescor, etc.

Devem ser assegurados a limpeza e outros tratamentos adequados, antes de seguir para a próxima etapa.



FIGURA 1. Fluxograma básico de processamento de alimentos enlatados.

TABELA 1. Aplicação do sistema APPCC no processamento de alimentos enlatados.

Etapa do processo	Tipo de risco microbiológico			PCC	Tipo de PCC	Método de monitoramento
	Contam.	Crescim.	Sobrev.			
Matéria-prima	-	-	-	-	-	-
Embalagem	-	-	-	Qualidade das latas	PCC ₂	Observar condições das latas
Enchimento	-	-	BP	Espaço-livre e peso adequados	PCC ₂	Medida: espaço-livre e peso
Exaustão	-	-	BP	Temperatura e viscosidade do liq. de enchimento	PCC ₂	Medida: viscosidade e temperatura ($\pm 93^{\circ}\text{C}$)
Fechamento	-	BE BP	-	Tempo de espera	PCC ₂	Relógio
Tratamento térmico	-	-	CB PA BET	Processo adequado (F_0 ; formulação; rel. sól/líq.; temp. inicial; tam. da lata)	PCC ₁	Termômetro Hg, manômetro, registro do processo, temp. inicial latas, disp. latas, exaustão aut., tempo de exposição
Resfriamento	BD LV BP	-	-	Qualidade da água, cloração adequada, temp., manuseio das latas	PCC ₂	Medida: cloro res. livre e temperatura ($<40^{\circ}\text{C}$)
Manuseio do recipiente	BP CB	-	-	Manuseio adequado de latas quentes e úmidas	PCC ₂	Observar operação
Armazenamento	-	BET	-	Temperatura	-	Medida: temp. ($<35^{\circ}\text{C}$)
Distribuição	BP BD	-	-	Empilhamento adequado das latas	-	Observar boas práticas

Obs.: BE = Bactérias esporogênicas; BD = Bactérias deterioradoras; CB = *Clostridium botulinum*; BET = Bactérias esporogênicas termófilas; PA = Putrefativos anaeróbios; LV = Leveduras; BP = Bactérias patogênicas.

Os tipos de problemas mais freqüentes e importantes nesta etapa são as contaminações microbianas elevadas, excesso de sujeira, contaminações de natureza química e frescor insatisfatório, levando ao risco de subprocessamento ou de produção de alimento de baixa qualidade e teor de contaminantes inadequado.

4.2 FORMULAÇÃO

Nesta etapa, quando houver, é preciso que se estabeleça um procedimento que deve ser seguido à risca. Alguns parâmetros como, por exemplo, relação sólido-líquido, viscosidade, tamanho de partículas e outros, definidos como críticos para o processo, precisam ser devidamente monitorados e registrados.

Os problemas mais freqüentes são alterações no procedimento estabelecido e na formulação por falta de componentes, ingredientes com elevada carga microbiana (principalmente especiarias) e parâmetros críticos fora das especificações, levando ao risco de subprocessamento com deterioração do produto.

4.3 LIMPEZA E INSPEÇÃO DA EMBALAGEM

As embalagens devem passar por um processo adequado de limpeza e inspeção para a garantia de um processamento higiênico e seguro quanto à manutenção da esterilidade após o processamento. O programa de inspeção da embalagem deve ser definido em função do tipo de embalagem empregada.

Os problemas mais freqüentes nesta fase são de falhas na limpeza, aumentando a contaminação inicial do produto e de embalagens malformadas que poderão comprometer a sua esterilização.

4.4 ENCHIMENTO

É uma operação relativamente simples onde basicamente devem ser atendidas as especificações de espaço-livre e massa definidas. No caso de produtos fluidos ou semi-sólidos, que apresentam facilidade de aeração, uma maior atenção deve ser tomada no controle da massa de produto, pois o controle só pelo espaço-livre torna-se problemático.

4.5 EXAUSTÃO

Esta operação é utilizada apenas para alguns produtos. Alguma atenção deve ser dada à temperatura do produto, se está ou não dentro do preconizado, e às condições de enchimento, se não foram alteradas. Para alimentos embalados tipo "solid-pack", o controle do nível de vácuo interno é fundamental para garantir a integridade da embalagem.

4.6 FECHAMENTO

Esta é uma operação crítica, principalmente quando se trabalha com embalagens metálicas, exigindo uma atenção redobrada na regulagem das recravadeiras. Inspeções visuais (não destrutivas) devem ser feitas a intervalos regulares inferiores a 30 minutos em amostras de qualquer tipo de embalagem. A freqüência deve ser aumentada nos períodos, logo após a correção de anormalidades. Inspeções ou ensaios físicos (destrutivos) devem ser feitos a intervalos não superiores a 4 horas para equipamentos de produção contínua. Um plano de amostragem deve ser desenvolvido para esta finalidade.

Todos estes ensaios devem ser devidamente registrados e a sua realização deverá ser supervisionada por técnico competente no assunto.

Nesta fase também é possível detectar problemas de enchimento e verificar a formação de vácuo, quando desejável.

No caso de embalagem asséptica, esta operação é cumprida após o processamento térmico e o resfriamento do produto, sendo que a integridade da embalagem deve ser garantida por meio de procedimentos regulares de inspeção, sendo estes procedimentos particulares para cada tipo especial de embalagem. A manutenção do ambiente estéril durante o enchimento e fechamento é ponto crítico e fundamental neste tipo de processo.

4.7 PROCESSAMENTO TÉRMICO

É a operação-chave de todo o sistema e exige o controle de uma série de fatores ou pontos críticos.

Um ponto essencial é que o programa do processo seja definido por uma autoridade em processamento, ou seja, uma pessoa ou organização que tenha um conhecimento especializado das exigências do processamento térmico para este tipo de produto e que disponha de instalações adequadas para fazer as determinações do processo.

Esta pessoa deverá definir junto com o programa do processo todas aquelas variáveis que terão que ser controladas durante o processamento para garantir a esterilidade comercial do produto. São os pontos críticos de controle do ponto de vista do processamento térmico. A estes pontos críticos são agregados outros pontos operacionais, que devem receber uma atenção especial, como, por exemplo: desaeração da autoclave, arranjo das embalagens, uso de separadores, etc.

Como esta etapa pode ser cumprida com uma grande variedade de equipamentos é preciso que se tenha um bom conhecimento dos pontos críticos de operação do equipamento em uso. Nos equipamentos para processamento asséptico deve-se registrar a temperatura de processo e dispor de meios para a determinação do tempo de residência mínimo das partículas na região de interesse (esterilização).

Antes de se dar início a qualquer produção industrial nesta área é importante que seja feita uma auditoria técnica, por profissional ou organização competente, nas instalações e instrumentos de controle do processo, para que seja atestada a sua adequação. Também é indicada a realização de testes de distribuição de calor nas autoclaves e testes de penetração de calor em recipientes com produto, localizados em diferentes pontos do equipamento, em condições semelhantes às do processamento industrial.

O principal problema associado ao processamento térmico é o subprocessamento gerando possibilidades de desenvolvimento do *Clostridium botulinum*, com risco à saúde humana, ou de bactérias esporuladas termófilas, com deterioração do produto.

Os principais pontos de controle para evitar o subprocessamento são: tempo e temperatura do processo, temperatura inicial do produto, desaeração da autoclave (para esterilização a vapor), parâmetros do produto e parâmetros do sistema de esterilização utilizado.

4.8 RESFRIAMENTO

Esta operação requer um cuidado muito especial com a água de resfriamento que deve ser devidamente clorada para evitar recontaminação do produto. Também deve haver um controle adequado da contrapressão no vaso onde se processa o resfriamento, evitando-se, com isso, danos à recravação das latas, ou abertura das tampas de vidros.

Estes cuidados se justificam pois, no início do resfriamento, as embalagens estão submetidas a temperaturas altas e os selantes das tampas ficam mais sujeitos a vazamentos, devido a uma maior flexibilidade nestas condições.

Em processos em sistemas assépticos, muitas vezes, o resfriamento é feito utilizando como meio de resfriamento o próprio produto frio, por meio de trocadores regeneradores. Nestes casos, há necessidade de um controle rígido do diferencial de pressão entre o lado do trocador em que flui o produto esterilizado e o lado em que flui o produto não esterilizado. Este diferencial deve ser sempre pelo menos 1 psi (0,07atm) maior do lado do produto esterilizado e precisa ser registrado durante todo o processo.

O principal problema desta operação é o vazamento, com riscos de uma contaminação generalizada por fungos, leveduras, bactérias deteriorantes e bactérias patogênicas. No processamento envolvendo latas, principalmente naquelas de maior tamanho, são comuns problemas de estufamento e de apainelamento, ambos representando danos à estrutura da embalagem por controle inadequado da pressão da autoclave e que são altamente indesejáveis, tanto do ponto de vista estético da embalagem, quanto do ponto de vista de segurança do processo. O resfriamento deve atingir temperaturas inferiores a 40°C para evitar o favorecimento do desenvolvimento de bactérias esporogênicas termófilas não levadas em conta no processo térmico.

São, portanto, pontos críticos de controle, nesta operação, a garantia de cloração da água, dada por um residual de cloro livre na corrente de esgotamento, a temperatura do produto resfriado e a pressão no vaso de resfriamento (processo convencional), ou o diferencial de pressão em casos usando trocador regenerador (processo asséptico). Também a qualidade do fechamento, controlado durante esta operação, é fundamental para um resfriamento sem maiores problemas.

4.9 MANUSEIO DO RECIPIENTE

Um manuseio adequado dos recipientes é desejável durante todas as etapas do processamento, mas ele ainda é mais importante após a esterilização do produto.

Vários estudos têm demonstrado a presença significativa de coleções de microrganismos deterioradores sobre as correias transportadoras e rampas umedecidas com água de resfriamento, mesmo quando é utilizada água de boa condição sanitária. A umidade presente é o veículo propício à transferência das bactérias ao fecho do recipiente e deste para o seu interior a qualquer anormalidade no manuseio. Por isso é muito importante manter uma limpeza freqüente das correias transportadoras e rampas por escovamento e uso de detergentes, além de efetuar uma secagem adequada dos recipientes antes de seguirem para embalagem e armazenamento.

Também o manuseio inadequado pode ocasionar danos físicos ao recipiente, como empenamento das tampas, apainelamento do corpo, dentes na área de recravação e outros, com prejuízos à segurança do fechamento e à estética da embalagem.

Nesta operação o principal problema é o vazamento, com risco de contaminação por diferentes tipos de microrganismos.

Os pontos críticos de controle são o nível de contaminação microbiológica dos equipamentos de manuseio de recipientes, a secagem da superfície externa dos recipientes, a ausência de deformações nas embalagens e os exames de controle do fechamento em unidades colhidas no armazém.

4.10 EMBALAGEM

Operação relativamente simples que trata de acondicionar os recipientes em embalagens secundárias antes de seu envio aos armazéns.

É importante, nesta etapa, que haja uma boa garantia de que os códigos de produção estampados nos recipientes também sejam estampados em lugar visível nas embalagens secundárias, para que seja possível uma rápida identificação em casos em que haja qualquer irregularidade com um lote de produção.

A certificação de que as latas estão secas e suas temperaturas próximas à ambiente é requisito fundamental para garantia da qualidade do produto.

4.11 ARMAZENAMENTO

Os produtos normalmente exigem um período de "quarentena" que varia em duração de tempo, em função de suas características e conforme as exigências das autoridades sanitárias responsáveis pela inspeção da produção. Durante este período, são realizados ensaios de incubação a diferentes temperaturas, geralmente mais elevadas do que o normal, ensaios estes que permitem prever se as condições do processamento foram adequadas àquele lote, antevendo qualquer possível problema durante a comercialização.

A menos que haja qualquer determinação para incubação do lote total, as embalagens com produto pronto para comercialização deverão ser estocadas, tanto no período de "quarentena", quanto no período posterior, a temperaturas abaixo de 35°C, para não favorecer o desenvolvimento de bactérias esporuladas termófilas.

No armazenamento, é importante um manuseio adequado das caixas e paletes, garantindo boa ventilação entre as pilhas. O empilhamento deve seguir estritamente uma orientação evitando sobrecargas que superem a resistência ao empilhamento das embalagens, além de permitir a saída dos lotes de produto com datas de fabricação mais antigas antes dos demais.

Durante esta operação, os principais problemas são vazamentos que podem ocorrer devido a diferentes causas, que levam à deterioração do produto e amassamento de embalagens por acidentes ocorridos durante o manuseio e empilhamento.

Os pontos críticos de controle são a temperatura do armazém e o exame visual periódico das pilhas de embalagens para verificação de vazamentos.

4.12 DISTRIBUIÇÃO

Esta operação finaliza todo o processo de transformação industrial dos alimentos, proporcionando a sua disposição nas empresas que fazem a comercialização do produto no atacado ou no varejo.

Nela devem ser seguidos os procedimentos adequados ao manuseio das embalagens, dentro de preceitos tecnicamente estabelecidos.

Os principais problemas durante esta operação estão ligados ao transporte e manuseio inadequados das embalagens, com choques excessivos que levam a riscos de vazamento e contaminação microbiológica do produto.

Nesta fase praticamente não há mais nada que se controlar, mas sim deverão ser tomados os devidos cuidados para que as situações de manuseio e transporte inadequados sejam plenamente evitadas.

5. CONCLUSÃO

Ainda que se possam utilizar testes de incubação de algumas unidades por lote de produção de alimentos termoprocessados, com a finalidade de se ter uma indicação, baseada em estatística, da segurança do processo de produção, não é conveniente que os problemas sejam identificados desta maneira, pois podem representar elevadas perdas da produção e se constituir em um novo problema quanto à disposição dos produtos defeituosos. Além disso, os testes de incubação não fornecem garantia absoluta de que o alimento esteja livre de contaminações, devido aos problemas de amostragem e das inferências estatísticas.

Por isso, a forma mais indicada de se garantir a fabricação de alimentos termoprocessados sem problemas é, sem dúvida alguma, através de um controle criterioso de cada etapa do processamento, usando as técnicas de APPCC, pois com elas é possível a identificação dos problemas e o seu controle e/ou eliminação a cada etapa do processo, não dando oportunidade para que eles apareçam ao final da produção.

Contudo, nunca é demais lembrar que a implantação de um programa de APPCC, para ser bem sucedida, deve contar com um elevado comprometimento das gerências da área, bem como com investimentos em educação e treinamento dos operadores sobre esta ferramenta e os detalhes do processo a cada etapa de produção.

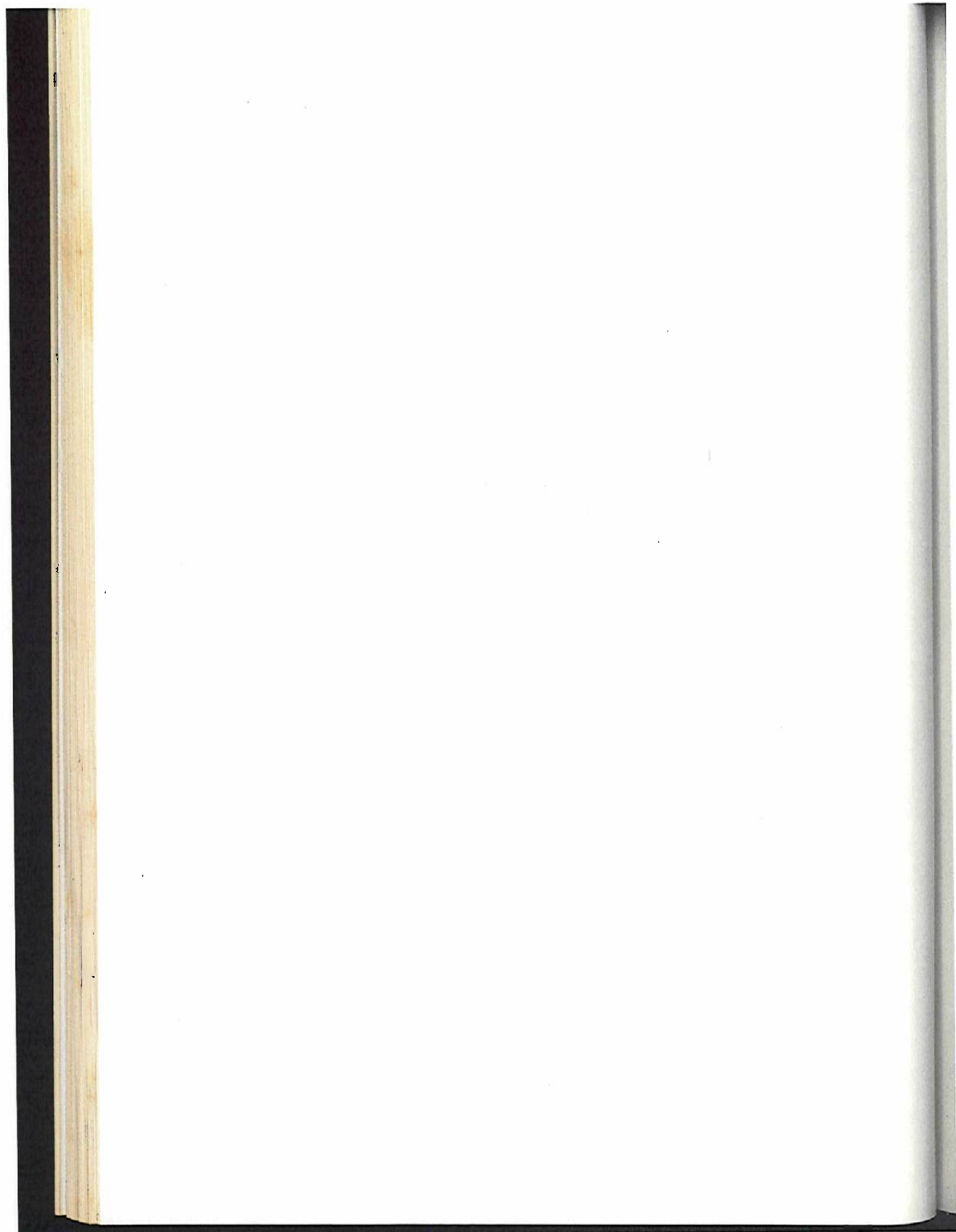
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOOD PROCESSORS INSTITUTE. **Alimentos enlatados, princípios de controle de processamento térmico, acidificação e avaliação do fechamento de recipientes.** Traduzido pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas: ITAL, 1984. 377p. (Tradução de: Canned Foods - Principles of Thermal Process Control, Acidification and Container Closure Evaluation)

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS - ICMSF. **Microorganisms in Foods.4.** Application of the hazard analysis critical control point (HAPCC). System to ensure microbiological safety and quality. Oxford: Blackwell Scientific Publ.. 1988.

**TÉCNICAS E REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DE
CURVAS DE PENETRAÇÃO DE CALOR**

José Ricardo GONÇALVES
Sílvia Cristina Sobottka Rolim DE MOURA



1. INTRODUÇÃO

A medição de temperatura é um dos maiores problemas no desenvolvimento e validação de um processo térmico.

Validação é o termo usado para descrever o processo que envolve todas as atividades de manufatura e controle que afetam o produto final. Quando todas estas atividades estão controladas então é possível certificar que o produto satisfaz um padrão predeterminado (PFLUG, 1990).

A obtenção de resultados confiáveis, do ponto de vista de segurança pública, na indústria, depende de instalações adequadas, acessórios e instrumentos de medida selecionados corretamente, de uma boa distribuição de calor na autoclave e ensaios criteriosos para o levantamento de curvas de penetração de calor.

Denomina-se curva de penetração de calor, ou histórico de temperatura, os dados de temperatura medidos experimentalmente no ponto frio de um produto, durante o processamento térmico. Os históricos de temperatura serão utilizados para o cálculo do F_0 que indicará a intensidade de esterilização obtida no processo.

A validação de um processo requer conhecimento e experiência suficientes por parte do pessoal encarregado para evitar erros de procedimento, medida de temperatura e mesmo de interpretação de resultados dos ensaios.

Neste capítulo serão discutidas as técnicas e os requisitos necessários para a obtenção de curvas de penetração de calor desde a seleção do melhor sensor de temperatura até a execução dos ensaios de penetração de calor, passando pela distribuição de calor na autoclave.

2. SELECIONANDO SENSORES DE TEMPERATURA

Todo o processo químico ou bioquímico deve ser controlado de alguma maneira e este controle freqüentemente envolve medida de temperatura. Existe hoje no mercado uma infinidade de sensores de temperatura e cabe ao engenheiro a decisão pelo melhor sensor para o seu caso.

Para a seleção do melhor sensor a ser usado, um certo número de fatores devem ser considerados. Entre eles estão: faixa de temperatura, precisão, velocidade de resposta, custo e manutenção requerida. Para isto é necessário uma certa discussão preliminar dos tipos de sensores existentes quanto à sua forma de atuação. Neste sentido, os sensores podem ser divididos em elétricos, mecânicos e por radiação térmica, como pode ser visto na Tabela 1.

Industrialmente os de maior aplicabilidade são os elétricos (termopares, termômetros de resistência e termistores).

TABELA 1. Medidores de temperatura.

Elétricos	Mecânicos	Radiação térmica
Termopares	Sistema térmico de enchimento	Pirômetro de radiação
Termômetros de resistência	Termômetro de vidro	
Termistores		

Fonte: CHEMICAL ENGINEERING, August 8, 1983.

Na Tabela 2 encontra-se uma indicação, de acordo com as faixas de temperatura dos métodos mais comuns de medida de temperatura.

TABELA 2. Faixa de temperatura para os métodos de medida mais comuns.

Método	Faixa (°C)
Termopares	- 200 a 1.700
Termômetros de resistência	- 250 a 650
Termistores	- 195 a 450
Sistemas mecânicos (Bourdon, diafragma)	- 195 a 760
Pirômetros de radiação	- 40 a 3.000

Fonte: CHEMICAL ENGINEERING, August 8, 1983.

2.1 TERMOPARES (TC's - "THERMOCOUPLES")

Consiste de um par de condutores de diferentes metais. Uma força eletromotiva é produzida e esta é função da diferença de temperatura na junção dos dois metais.

Devido a força eletromotiva ser gerada como uma função da temperatura da junção, uma junção de referência deve ser adotada. A mais comum é o gelo (0°C).

Existem diversos tipos de termopares padrão (B, R, S, J, K, T e E), entre estes o mais comum na indústria de alimentos é o Tipo T (cobre-constantan).

A Tabela 3 compara os tipos de termopares padrões quanto à sua faixa de atuação.

TABELA 3. Composição e faixa de temperatura para termômetros-padrão.

Tipo	Composição	Faixa (°C)
B	Platina 6% ródio vs. Platina 30% ródio	0 a 1820
R	Platina vs. Platina 13% ródio	- 50 a 1768
S	Platina vs. Platina 10% ródio	- 50 a 1768
J	Ferro vs. Constantan	- 210 a 760
K	Cromel vs. Alumel	- 270 a 1372
T	Cobre vs. Constantan	- 270 a 400
E	Cromel vs. Constantan	- 270 a 1000

Obs.: Junta de Referência a 0°C.

Fonte: CHEMICAL ENGINEERING, August 8, 1983.

O maior problema da utilização de termopares está na sua montagem junto a cabos de extensão. Uma boa montagem requer materiais adequados e uma certa prática para que a junção não contribua em erros na medida de temperatura. Outro problema a se destacar é a dificuldade de manipulação dos cabos na indústria.

Em alguns casos, os cabos devem ser blindados e aterrados, como visto na Figura 1, para que diferenças de potencial (estáticas) sejam minimizadas levando, assim, a um aumento substancial do custo do sistema.

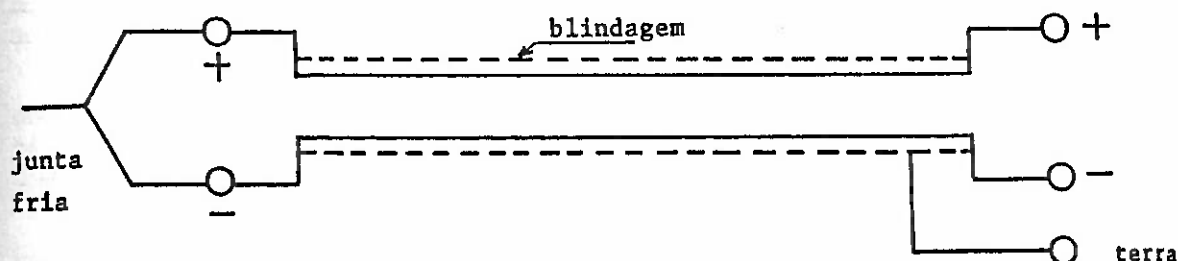


FIGURA 1. Esquema de aterramento de cabos de extensão para termopares blindados.

Porém, as principais razões para a escolha de termopares para utilização em sistemas de medida de temperatura são o menor custo, maior robustez e confiabilidade quando comparados com os termômetros de resistência e os termistores.

Hoje, nas indústrias alimentícias e farmacêuticas dos Estados Unidos, os termopares tipo T com cabos de extensão isolados em Teflon são os sensores de temperatura de maior utilização.

2.2 TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA (RTD's - "RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR")

Os detectores de temperatura por resistência ou termômetros de resistência trabalham com o princípio de que uma variação na temperatura provoca uma mudança na resistência elétrica de um determinado metal. A magnitude desta mudança está relacionada com a mudança de temperatura.

Os materiais usados na construção dos RTDs são: platina, níquel-ferro, cobre e tungstênio.

Entre estes materiais, a platina é utilizada para uma maior faixa de temperatura com maior estabilidade e precisão. Industrialmente, o mais conhecido é o Pt-100 (produz 100 ohms de resistência a 0°C).

Este tipo de sensor não necessita de temperatura de referência e é bastante preciso se bem utilizado, porém seu pequeno tamanho pode causar erros devido a auto-aquecimento.

2.3 TERMISTORES

Um termistor é um resistor termicamente sensível, cuja principal função é exibir uma mudança na resistência elétrica com uma mudança na temperatura. É constituído de óxidos metálicos. Os metais que freqüentemente têm sido usados são o níquel, cobalto, manganês, ferro, cobre, magnésio e titânio.

Termistores têm alta resistência a baixas temperaturas, mas sua resistência diminui exponencialmente com o aumento da temperatura. Sua faixa de atuação é bem pequena, porém é estável e de rápida resposta.

Seu pequeno tamanho torna-o mais susceptível a erros por auto-aquecimento assim como nos RTDs.

A Tabela 4 resume as características e considerações sobre a escolha dos sensores descritos.

TABELA 4. Considerações na escolha de sensores.

Características	RTD Platina	Termistor	TC
Faixa (0°C)	- 250 a 650	- 195 a 450	- 200 a 1700
Exatidão	± 0,1 para 0°C ± 1,0 para 650°C	± 0,2 para 25°C ± 1,0 para 150°C	± 2,2 para 0°C ± 9,4 para 1250°C
Tamanho	O menor	Maior que o TC	Entre RTD e termistor
Vantagens	Melhor precisão e estabilidade	Maior sensibilidade com faixas menores	Leituras a altas T°C
Desvantagens	Não tão robusto Sujeito a erros de auto-aquecimento	Menor faixa Sujeito a erros de auto-aquecimento	Requer junta de referência e cabos de extensão
Custo	Maior que termistor e TC	Maior que o TC	O mais barato

Fonte: CHEMICAL ENGINEERING, August 8, 1983.

2.4 CUIDADOS NA UTILIZAÇÃO DE SENSORES

2.4.1 Interferências elétricas

Interferências elétricas são produzidas por campos eletrostáticos ou eletromagnéticos ou mesmo pela proximidade do sensor com equipamentos ou cabos elétricos.

Termistores e RTDs normalmente não são afetados, pois produzem sinais elétricos de alta voltagem. Os termopares, contudo, produzem sinais de baixa voltagem que são susceptíveis a estas interferências; neste caso, o uso de cabos de extensão blindados e o correto aterramento do sistema de medida devem resolver o problema (KENNEDY, 1983).

2.4.2 Influências ambientais

Variações de temperatura ambiente, calor, umidade, fios elétricos e mesmo reatores de luz fluorescente no local de medição são fontes significativas de erro para sistemas de medição com termopar. Alguns fabricantes fornecem informações detalhadas sobre fontes de erro, mas a maioria considera apenas um erro total quando o sistema é usado dentro de uma faixa limite de temperatura ambiente.

2.4.3 Calibração

Os sensores devem ser calibrados contra um termômetro-padrão de referência que seja rastreável a um padrão NBS (National Bureau of Standard).

É necessário uma calibração dos sensores, juntamente com seu sistema de medição, antes e após o seu uso, além de uma calibração regular a cada 6 meses para que se garanta uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em relação ao padrão. Geralmente um sistema de medição não altera sua calibração com o uso, porém a calibração assegura o funcionamento adequado do sistema. Termistores e RTDs podem alterar significativamente sua calibração se estes sofrerem algum abuso físico (PFLUG, 1990).

Os sensores podem ser calibrados em banho de óleo, mas um método que confere maior realidade aos dados é a calibração do instrumento no local onde ele será usado, ou seja, na autoclave, sob as mesmas condições de processo, usando temperaturas dentro da faixa em que o sensor será usado.

Em sistemas de vários canais cada cabo de termopar deve ser mantido no mesmo canal durante a calibração e uso, pois a correção aplicada a cada um deles inclui o erro de uniformidade, isto é, o grau com que um sistema de medição indica o mesmo valor quando exatamente o mesmo sinal é aplicado nos diferentes canais (PFLUG, 1990).

Em resumo, a determinação incorreta de uma medida é altamente prejudicial, pois pode levar ao subprocessamento e conseqüentemente à colocação no mercado de um produto que pode oferecer risco de saúde ao consumidor. A indústria de alimentos está se tomando cada vez mais consciente da necessidade de calibração não só para implantação de Sistemas de Qualidade como a ISO 9000, mas também para garantia da qualidade e segurança de seu produto.

3. DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA

A uniformidade de temperatura dentro de uma autoclave é um dos fatores de maior importância no processamento térmico. Esta uniformidade e estabilidade de temperatura é que pode garantir a letalidade em todas as embalagens que estejam sendo esterilizadas.

Testes de distribuição de calor normalmente são simples de se fazer, porém necessitam de pessoas experientes para esquematização e interpretação dos resultados (BOCK, 1969). Eles revelam a posição mais apropriada para ensaios de penetração de calor.

Em um estudo típico de distribuição de temperatura, 15 a 20 sensores previamente calibrados são distribuídos em pontos estratégicos no interior dos cestos onde se encontra a carga a ser autoclavada.

Se por algum motivo a produção industrial estiver interrompida, os ensaios de distribuição de calor podem ser feitos com uma carga completa de embalagens preenchidas com água para gerar uma carga térmica maior durante o período de subida de temperatura ("come up time"). Tal artifício é justificável para simular o processamento de um produto de baixa viscosidade, mas causa dúvidas quando o produto se aquece por condução. A água tem alta capacidade calorífica e elevada difusividade térmica em comparação com os produtos aquecidos por condução; então ela se aquece rapidamente até atingir a temperatura do processo e permanece estável em termos de transferência de calor.

Autoclaves que utilizam vapor puro como meio de aquecimento devem ser previamente desaeradas, pois a presença de ar (mau condutor de calor) pode levar à formação de bolsões, responsáveis pelo subprocessamento térmico. A correspondência entre a temperatura e a pressão da autoclave durante a desaeração e o período de subida da temperatura geralmente indicam a adequada expulsão do ar.

Com relação ao grau de uniformidade da temperatura, MAY (1992) recomenda para autoclaves a vapor, adequadamente desaeradas, uma distribuição de temperatura de pelo menos $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em torno da temperatura de processo e ausência de "zonas frias" significativas durante a

etapa de esterilização. Para autoclaves aquecidas com água, a distribuição de temperatura tende a ser menos uniforme; neste caso para processos com tempo de esterilização superior a 40 minutos, é recomendada uma distribuição de temperatura de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ com cuidadosa identificação de pontos frios.

Por fim, um estudo de distribuição é específico para um conjunto de condições preestabelecidas que envolvem procedimento operacional e tipo de autoclave, além de características do produto, embalagem e meio de aquecimento. Seus resultados não devem ser extrapolados para outras situações. No caso de qualquer alteração nas instalações industriais, os ensaios de distribuição devem ser refeitos.

4. PENETRAÇÃO DE CALOR

Para obtenção de curvas de penetração de calor toma-se necessária a determinação do "ponto frio" da embalagem. Existem vários fatores que influenciam esta determinação, entre eles: características físicas do produto, geometria da embalagem, espaço-livre e características do processo.

4.1 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

Produtos líquidos se aquecem tipicamente por convecção diminuindo a velocidade de penetração com o aumento da viscosidade do líquido e com a presença de partículas sólidas (ervilhas ou milho em salmoura, cereja em xarope de açúcar). O aumento das partículas diminui ainda mais a velocidade de penetração de calor como é o caso de carne em pedaços com molho.

Produtos sólidos, entretanto, se aquecem tipicamente por condução. Entre estes produtos estão o patê, o "comed beef", a mortadela e os produtos contendo colóides como pectina ou amido, pelo aumento da viscosidade do líquido, ou ainda partículas sólidas compactadas no interior da embalagem.

Existem alguns produtos que alteram a sua penetração de calor com o tempo e a temperatura. É o caso das massas alimentícias que absorvem água do molho no qual estão envolvidas, diminuindo a velocidade de penetração pelo aumento da viscosidade do molho.

Na determinação do ponto frio sabe-se que produtos que se aquecem por condução possuem o ponto frio no centro geométrico da embalagem e produtos que se aquecem por convecção têm o ponto frio em um local que depende da agitação do produto no interior da embalagem.

A Figura 2 mostra termopares instalados no ponto frio de uma lata aquecida por condução e outra por convecção (KYZLINK, 1990).

Para testes de penetração de calor com partículas sólidas imersas em líquido, os sensores devem ser colocados no centro geométrico da maior partícula sólida contida na embalagem (MAY, 1992).

4.2 GEOMETRIA DA EMBALAGEM

Embalagens complexas requerem a determinação do ponto frio experimentalmente, colocando-se sensores ao longo da embalagem e determinando-se o ponto de temperatura mais baixa.

Algumas embalagens sofrem deformação durante o processamento e requerem cuidados especiais para evitar a modificação da posição do sensor durante o processo.

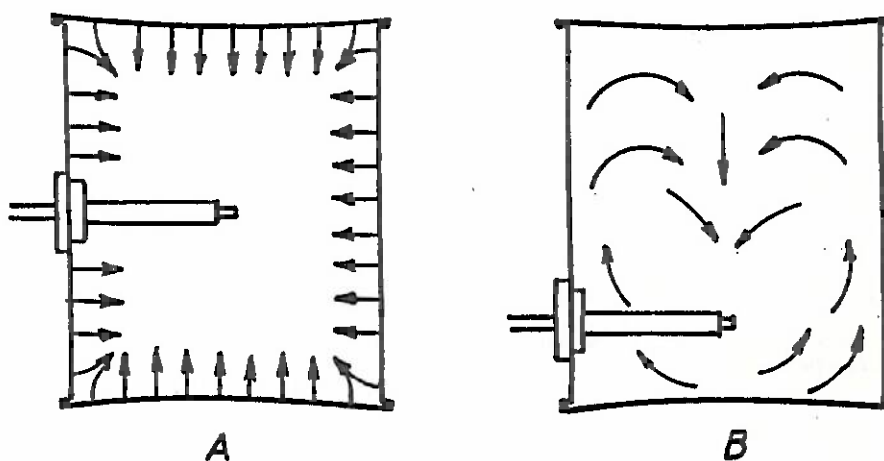


FIGURA 2. Posição dos termopares instalados no ponto frio de uma lata aquecida por condução (A) e por convecção (B).

4.3 ESPAÇO-LIVRE

A instalação dos sensores dentro das latas não deve alterar o espaço-livre do produto nem a proporção sólido/líquido. Qualquer variação pode fornecer dados que não correspondem à realidade.

4.4 OUTROS FATORES

Outros fatores que influem na obtenção dos dados de penetração de calor são a temperatura inicial do produto e o tempo de processo. É necessário um controle rigoroso destas variáveis. No caso da temperatura, sempre trabalhar com condições críticas de processo para efeito de garantia dos resultados; e no caso do tempo, uma variação pode influenciar o cálculo do F_0 de esterilização já que este é calculado em função do binômio tempo x temperatura.

Para os testes de penetração de calor, as embalagens devem ser colocadas nos pontos onde a distribuição de calor foi considerada crítica. Nestes testes utilizam-se no mínimo 6 sensores calibrados.

Com estes dados calcula-se o F_0 de esterilização para cada ponto medido e, geralmente, utiliza-se aquele valor que apresentou o menor resultado, por questão de segurança.

No caso de qualquer alteração nas condições de processo, os ensaios de penetração de calor devem ser refeitos.

Tomando-se todos estes cuidados e conservando sempre as instalações industriais e as condições de processo, garante-se um produto de qualidade, do ponto de vista microbiológico e organoléptico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOCK, J.H. **Retorts for canning**. Chicago: Continental Can Company, Technical Center, 1969. 37p.
- CAMPDEN FOOD AND DRINK RESEARCH ASSOCIATION. How do you measure up? **Food Manufacture**, v.67, n.10, p.53, London, Oct., 1992.
- FOOD PROCESSORS INSTITUTE. **Alimentos enlatados: Princípio de Controle do Processamento Térmico e Avaliação de Fechamento de Recipientes**. 4. ed. Traduzido pelo ITAL. Campinas: ITAL, 1990. 239p. (Tradução de: Canned Foods - Principles of Thermal Process Control, Acidification and Container Closure Evaluation).
- KENNEDY, H.R. Selecting temperature sensors. **Chemical Engineering**, v.8, p.54-71, New York, Aug., 1983.
- KYZLINK, V. **Principles of food preservation**. Czechoslovakia: [s.l.] 1990. 598p. (Developments in Food Science, 22).
- MAY, N. Thermal underware. **Food Manufacture**, v.67, n.3, p.57-8, London, Mar.1992.
- PARK, D.J. *et al.* Determining temperature distribution in rotary, full-immersion, hot-water sterilizers. **Food Technology**, v.44, n.12, p.113-8, Chicago, Dec. 1990.
- PFLUG, I.J. **Microbiology and engineering of sterilization processes**. 7.ed. Minneapolis: Environmental Sterilization Laboratory, 1990.
- TUNG, M.A. *et al.* Food Sterilization in steam/air retorts. **Food Technology**, v.44, n.12, p.105-9, Chicago, Dec. 1990.

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS TÉRMICOS
UTILIZANDO O MÉTODO GENÉRICO**

Rodrigo Otávio TEIXEIRA NETO



1. INTRODUÇÃO - CONCEITUAÇÃO DE "D" E "z"

Em seção anterior já foi visto, nos ensaios de destruição de microrganismos, como se determina o valor D e como ele é definido. Nesta seção insistir-se-á um pouco mais nesta conceituação, dada a sua importância para os cálculos de esterilização.

Da mesma forma trabalhar-se-á um pouco mais com a conceituação do valor z, dado o seu largo uso nos cálculos dos processos de esterilização, muito embora não exista uma boa fundamentação teórica para ele, ou seja, ele é de natureza empírica e nasceu a partir de observação do pesquisador Bigelow, daí às vezes ser chamado de modelo de Bigelow.

É possível, no entanto, utilizar, nos cálculos de esterilização, modelos de melhor fundamentação teórica como, por exemplo, aqueles baseados na cinética das reações químicas, que em muitos casos aplicam-se adequadamente a reações biológicas como a destruição de microrganismos. Neste caso, o modelo mais largamente usado, que explica a relação do efeito da temperatura com a velocidade da reação é o modelo Arrhenius.

Contudo, pesquisadores como PFLUG (1990) e JONSSON *et al.* (1977), que já trabalharam comparando os resultados obtidos pelos dois métodos, observaram que eles são muito semelhantes, daí se dar preferência à utilização do modelo de Bigelow (valor z) para a conceituação dos cálculos de esterilização, visto sua grande popularidade na área microbiológica. É importante salientar, no entanto, que é sempre possível converter dados de um modelo para outro, ou seja, a partir de um valor z pode-se chegar ao valor E da energia de ativação, que é a base do modelo cinético de Arrhenius ou vice-versa.

A seguir é apresentada uma equação que permite a interconversão anteriormente mencionada:

$$E = 4,6 \cdot T^2/z \quad (1)$$

onde:

E = energia de ativação (cal/°K.mol)

T = temperatura absoluta (°K)

z = valor z (°C)

Por exemplo, à temperatura de 121°C, quando z é igual a 10°C:

$$E = 4,6 \times (394)^2/10 = 71,4 \text{ Kcal/°K.mol}$$

O valor D é normalmente denominado de tempo de redução decimal, ou seja, é o tempo necessário para reduzir o número de microrganismos a um décimo do inicial, a uma determinada temperatura. A morte dos microrganismos, quando submetidos a uma determinada temperatura, é logarítmica, ou seja, quando se colocam num gráfico semilogarítmico, na ordenada, o número de microrganismos sobreviventes e na abscissa o tempo de aquecimento, obtém-se uma linha reta. Neste mesmo gráfico, ilustrado na Figura 1, pode-se calcular o valor D para o microrganismo estudado, simplesmente, anotando-se os tempos correspondentes a dois pontos na reta referentes à redução dos sobreviventes de um ciclo logarítmico e efetuando-se a diferença entre estes tempos. O valor D é sempre dado em unidade de tempo, por exemplo, minutos e é referido a uma determinada temperatura.

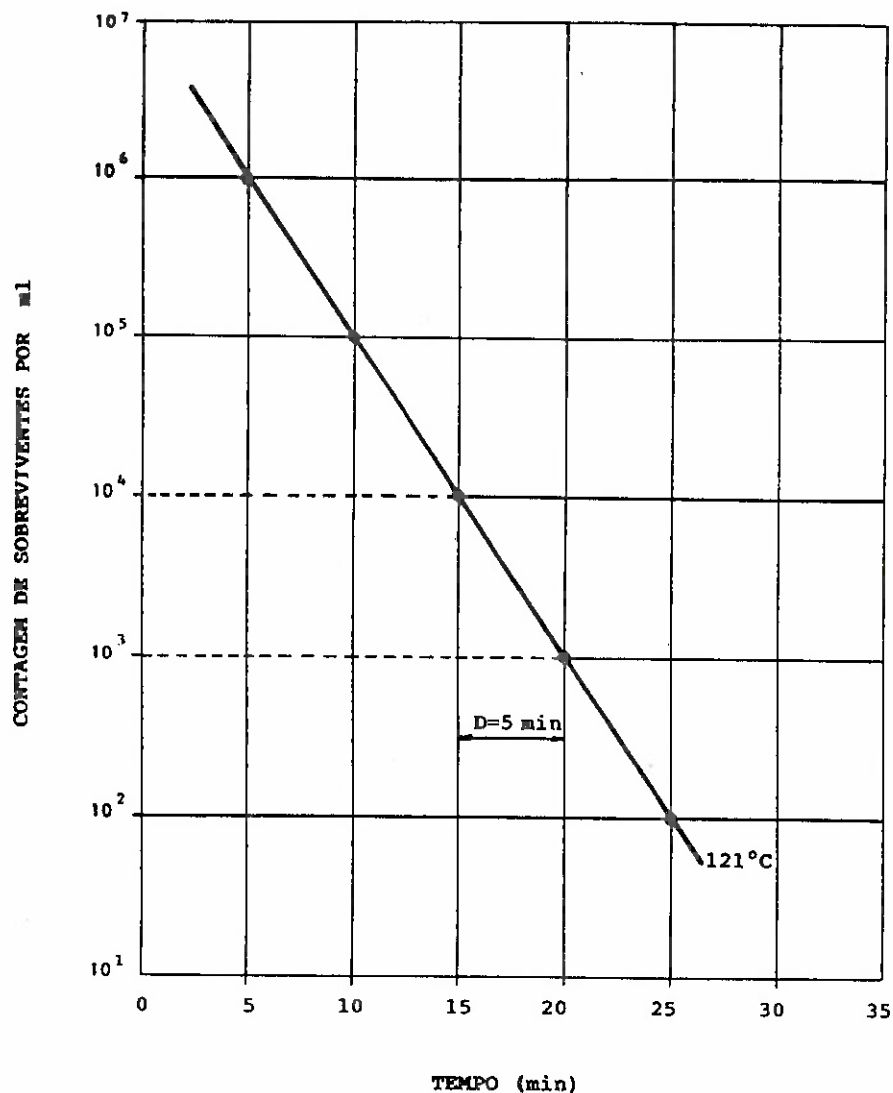


FIGURA 1. Curva de sobreviventes para o cálculo do valor D.

Na Figura 1 está ilustrado o cálculo do valor D à temperatura de 121°C, para um determinado microrganismo e a curva de sobreviventes tem o perfil apresentado. Verifica-se que para o número de sobreviventes igual a $1,0 \times 10^4$, o tempo de processo é de 15 minutos, enquanto para $1,0 \times 10^3$, o tempo passa a ser de 20 minutos. Portanto, para este microrganismo, o valor D é de $20 - 15 = 5$ minutos, ou $D_{121^\circ\text{C}} = 5$ minutos.

É sabido que cada microrganismo tem um valor D específico para cada temperatura e esses dados são geralmente encontrados na literatura como, por exemplo, em STUMBO (1973), mas também podem ser determinados experimentalmente sempre que se queira, sem maiores dificuldades, bastando, para isso, seguir os métodos descritos em PFLUG (1990).

Quando se trabalha com processos de esterilização é sempre interessante poder converter o valor D de um microrganismo a uma determinada temperatura para uma outra temperatura. Isso, no entanto, só é possível conhecendo-se as influências da temperatura na destruição do microrganismo estudado, na forma de um coeficiente de temperatura.

No modelo de Bigelow, o valor z representa este coeficiente de temperatura, o qual é extensivamente usado na área de microbiologia de alimentos. Por este método, valores de D para um determinado microrganismo são plotados na ordenada de um gráfico semilogarítmico, em função da temperatura, que é representada na abscissa, dando estes pontos origem a uma linha reta, denominada de curva de resistência térmica.

Neste gráfico, ilustrado na Figura 2, pode-se calcular o valor z do microrganismo, simplesmente anotando-se as temperaturas correspondentes a dois pontos na reta, referentes à redução no valor D equivalente a um ciclo logarítmico ou a 10 vezes o valor original. Os valores de temperaturas obtidos são subtraídos um do outro, obtendo-se, assim, o valor de z , que é sempre dado em unidade de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{F}$).

Na Figura 2 está ilustrado o cálculo do valor z , para um determinado microrganismo. Verifica-se que o valor D é de 10 minutos para uma temperatura de 110°C , enquanto ele é de 1,0 minuto para uma temperatura de 120°C . Portanto, para este microrganismo, o valor z é de $120 - 110 = 10^{\circ}\text{C}$, ou $z = 10^{\circ}\text{C}$.

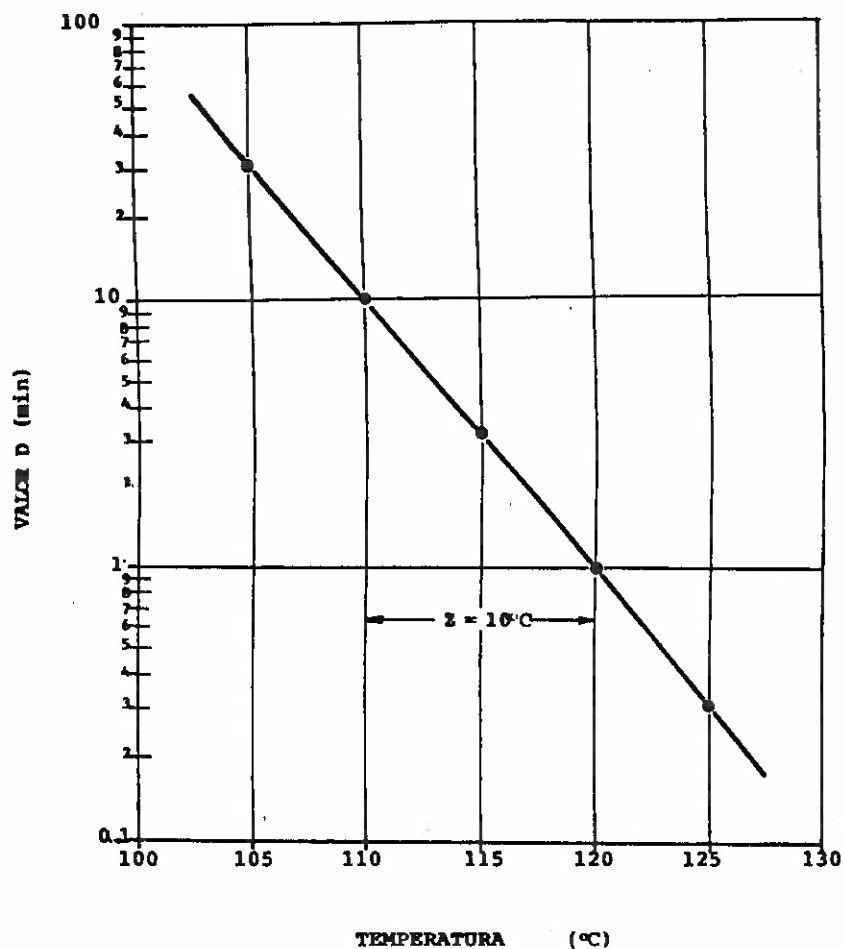


FIGURA 2. Curva de resistência térmica para cálculo do valor z .

Desta mesma figura pode-se tirar que $z = \text{co-tangente } \theta$ e, portanto:

$$z = (T_2 - T_1) / (\log D_2 - \log D_1) \quad (2)$$

e se forem substituídos os valores utilizados no exemplo anterior tem-se que:

$$z = (120 - 110) / (\log 1 - \log 10) = -10$$

Embora o resultado dado pela equação acima seja negativo, devido à inclinação negativa da reta, os valores de z são sempre usados sem o sinal negativo. Daí sugere-se a utilização da equação definida da seguinte forma:

$$z = (T_2 - T_1) / (\log D_1 - \log D_2) \quad (3)$$

ou

$$D_1/D_2 = 10^{(T_2 - T_1)/z} \quad (4)$$

Com esta equação é possível a conversão do valor D_1 a uma temperatura T_1 para um valor D_2 a uma temperatura T_2 , desde que o valor z do microrganismo seja conhecido.

Exemplo: Para um determinado microrganismo cujo valor z é conhecido e igual a 8°C , foi obtido da literatura o seu valor D a 115°C que é de 5 minutos. Calcular o valor D a 121°C .

$$D_1/D_2 = 10^{(T_2 - T_1)/z}$$

Como $D_1 = 5\text{min}$, $T_1 = 115^\circ\text{C}$, $T_2 = 121^\circ\text{C}$ e $z = 8^\circ\text{C}$, tem-se:

$$5/D_2 = 10^{(121 - 115)/8}$$

$$D_2 = 5/5,62 = 0,89\text{min}$$

2. CONCEITUAÇÃO DE TAXA LETAL

Os conceitos de D e z até aqui discutidos são fundamentais para os cálculos dos processos de esterilização. Para que estes cálculos sejam possíveis é muito importante que se conheça o valor de esterilização a uma dada temperatura de referência e os valores equivalentes de esterilização às temperaturas de processo.

Nos cálculos de esterilização convencionou-se quase que universalmente a temperatura de referência de 121°C , à qual corresponde um valor de esterilização de 1 para cada 1,0 minuto a esta temperatura. Para se conhecer os valores equivalentes de esterilização a outras temperaturas é preciso desenvolver-se o conceito de taxa letal.

Este conceito pode ser desenvolvido usando um pouco de lógica, para o seu melhor entendimento, seguido da interpretação matemática que permitirá o seu uso facilitado e amplo.

Se se tiver, por exemplo, dados arranjados como na Tabela 1, na coluna 2 tem-se os dados tirados da curva de resistência térmica apresentada na Figura 2 e com estes dados são efetuados os cálculos dos valores relativos do tempo de morte, os quais são apresentados na coluna 3. A taxa letal, indicada na coluna 4, é dada pelo recíproco do valor obtido na coluna 3.

TABELA 1. Valores hipotéticos de D_T , D_T/D_{ref} e taxa letal para um determinado microrganismo com curva de resistência térmica conforme Figura 3.

(1) Temperatura °C	(2) Tempo redução decimal D , min	(3) Tempo relativo de morte $D_T/D_{121°C}$	(4) Taxa letal $D_{121°C}/D_T$
121	0,8	1,0	1,0
120	1,0	1,25	0,8
115	3,2	4,0	0,25
110	10,0	12,5	0,08
105	31,0	38,75	0,026
100	100,0	125	0,008

A base de tudo isso está assentada no fato de que todas as combinações de tempo/temperatura, que caem na linha reta traçada na Figura 2, produzem o mesmo efeito de morte dos microrganismos, ou seja, o tratamento durante 10 minutos a 110°C é equivalente ao tratamento durante 1,0 minuto a 120°C, ou 31 minutos a 105°C e assim por diante.

Como a taxa letal foi definida na Tabela 1 como a relação entre D_{ref} e D_T , por analogia pode-se utilizar a equação 4 e chegar ao seguinte:

$$D_{ref}/D_T = 10^{(T - T_{ref})/z}$$

De onde se conclui que:

$$\text{Taxa letal} = TL = 10^{(T - T_{ref})/z} \quad (5)$$

Com esta equação é possível determinar os valores equivalentes de esterilização (taxa letal) a qualquer temperatura, desde que se conheça o valor z do microrganismo em estudo. Este mesmo conceito é válido para o cálculo dos processos de pasteurização e, devido à semelhança do modelo de Bigelow e o de Arrhenius, em termos de resultados, o mesmo conceito, com algumas modificações, em termos interpretativos, aplica-se muito bem à maioria das outras reações de transformação de alimentos, permitindo, com isso, simulações matemáticas visando à otimização dos resultados qualitativos dos processamentos térmicos de alimentos.

Por questões de facilidade de cálculo muitos autores apresentam tabelas com os valores da taxa letal para diferentes valores de z e diferentes valores de temperatura de referência, sendo esta última função do processo em análise, ou seja, de esterilização, pasteurização ou otimização de algum parâmetro de qualidade. Neste manual, ao final, é apresentado um apêndice com algumas destas tabelas (QUAST, 1976).

3. O MÉTODO GENÉRICO DE CÁLCULO DE F_0

De posse destes conceitos pode-se, finalmente, partir para os cálculos dos processos de esterilização. Basicamente dois métodos podem ser utilizados para isso: o método genérico e o método matemático. Nesta seção serão discutidos o método genérico e as ferramentas para a sua utilização.

O método genérico é, sem dúvida, aquele que oferece os melhores resultados nos cálculos dos processos de esterilização e também apresenta uma característica muito importante: a de que se aplica a qualquer tipo de dado de aquecimento, independentemente do mecanismo de aquecimento, além de acomodar a escolha de qualquer valor de temperatura de referência e de z .

Neste ponto é importante introduzir o conceito do valor F , que é o tempo de processo equivalente em minutos a uma determinada temperatura de referência para um valor selecionado de z . Nos processos de esterilização, geralmente, a temperatura de referência é de 121°C e o valor de $z = 10^\circ\text{C}$ e, neste caso, o valor F é chamado de F_0 .

O cálculo do valor F_0 num processo de esterilização corresponde, portanto, ao somatório das contribuições letais de cada estágio de temperatura pelo qual passou o produto durante o processo. Isto pode ser resumido na seguinte fórmula matemática:

$$F_0 = \sum TL \times \Delta t \quad (6)$$

onde

Δt = intervalo de tempo em cada temperatura

Quando o processo de aquecimento é instantâneo, o cálculo de F_0 é bastante simplificado, pois o histórico de temperatura com efeito letal se reduz a praticamente um ponto. Daí o valor F_0 é calculado pela simples multiplicação do valor letal correspondente àquela temperatura pelo tempo, convertido em minutos, de manutenção naquela temperatura.

Como exemplo de um processo com aquecimento instantâneo tem-se o processo de esterilização do chamado "leite longa vida", no qual o leite é aquecido a 143°C por aproximadamente 2 a 3 segundos. Neste exemplo tem-se:

$$T = 143^\circ\text{C} \rightarrow TL = 154,9$$

$$F_0 = 154,9 \times 2/60 = 5,16 \text{ min}$$

Contudo, na grande maioria dos processos de esterilização comercial o que se tem é um histórico de temperaturas em função do tempo, uma vez que o aquecimento instantâneo do produto é inexequível. Uma forma ainda relativamente simples de se calcular o valor F_0 é fazer o somatório das contribuições letais das temperaturas medidas a cada minuto do processo.

Assim, se, por exemplo, houver um processo de esterilização com o histórico de temperaturas abaixo, usando os valores das taxas letais correspondentes, chega-se facilmente ao valor de F_0 .

Tempo (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura (°C)	50	65	82	105	115	118	120	120	117	110	87	62	45
Taxa letal	-	-	-	,02	,25	,49	,78	,78	,39	,08	-	-	-

$$F_0 = 0,02+0,25+0,49+0,78+0,78+0,39+0,08 = 2,79\text{min}$$

Ocorre que as duas situações apresentadas anteriormente são muito particulares e não é comum encontrá-las no dia-a-dia do processamento de alimentos. A primeira devido às dificuldades de se efetuar o aquecimento instantâneo e a segunda pela dificuldade de se medir o histórico de temperaturas a cada minuto do processo.

Na maioria dos processos, o que se tem é um produto que vai se aquecendo à medida que o tempo de processo evolui; depois a temperatura é normalmente mantida num determinado patamar por um certo tempo e, em seguida, o produto começa a ser resfriado até atingir a temperatura final desejada. O aquecimento é mais rápido ou mais lento, em função de uma série de fatores, sendo o principal deles as características intrínsecas do alimento quanto ao seu comportamento de transferência de calor.

Neste ponto vale ressaltar que todas as medidas de temperatura do produto durante o processo de esterilização devem ser efetuadas no seu ponto mais frio, por questões de segurança quanto à efetividade do processo térmico e este ponto, dentro de um recipiente, pode variar de produto para produto, em função das suas características de transferência de calor. Portanto, é sempre muito importante para cada produto e embalagem utilizada efetuar a determinação do ponto frio.

Nestes casos mais comuns e mais gerais pode-se lançar mão de pelo menos dois métodos de cálculos: o método gráfico e o método de Patashnik, apresentado em PATASHNIK (1953).

Para que os cálculos espelhem adequadamente a intensidade do tratamento térmico é necessário que pelo menos 20 medidas de temperatura sejam feitas ao longo de todo o ciclo do processo, o que permite a construção de um perfil de temperaturas/tempos representativos de todo o processo.

3.1 CÁLCULO DE F_0 PELO MÉTODO GRÁFICO

Para os cálculos pelo método gráfico, primeiramente, constrói-se uma planilha dos valores medidos de temperatura em função do tempo. Em seguida, acrescenta-se, na planilha, uma coluna com os valores das taxas letais correspondentes às temperaturas medidas (Tabela 2). Na seqüência constrói-se, a partir dos dados da planilha, um gráfico, locando-se os valores das taxas letais no eixo das ordenadas e o valor do tempo de processo no eixo das abscissas (Figura 3). A união dos pontos do gráfico dá origem a uma curva, cuja área compreendida entre ela e o eixo das abscissas, após normalização, corresponde ao valor F_0 de esterilização.

TABELA 2. Valores de tempo, temperatura e taxa letal para um processamento térmico hipotético ($T_{\text{autoclave}} = 121^{\circ}\text{C}$).

Tempo (min)	Temperatura do produto ($^{\circ}\text{C}$)*	Taxa letal ($T_{\text{ref}} = 121^{\circ}\text{C}$) ($z = 10^{\circ}\text{C}$)	Temperatura da autoclave ($^{\circ}\text{C}$)	Observações
0	38,3	-	24,0	Início do aquecimento
5	38,5	-	103,5	
10	39,7	-	105,0	Final da desaeração
15	48,5	-	120,5	
20	56,0	-	121,0	CUT aos 17min
25	71,0	-	121,0	
30	78,5	-	121,0	
35	90,0	-	121,0	
40	95,0	-	121,0	
45	101,0	0,002	121,0	
50	105,5	0,028	121,0	
55	108,8	0,059	121,0	
60	111,5	0,110	121,0	
65	113,7	0,182	121,0	
70	115,5	0,275	121,0	
75	116,9	0,380	121,0	
80	118,0	0,490	121,0	
85	118,5	0,550	88,0	Início do resfriamento
90	107,8	0,047	27,0	
95	100,5	0,009	27,0	
100	94,5	0,002	27,0	
105	84,0	-	27,0	
110	73,9	-	27,0	
115	66,3	-	27,0	
120	61,8	-	27,0	
125	52,0	-	27,0	
130	50,0	-	27,0	
135	45,9	-	27,0	

*Medida no ponto da embalagem de aquecimento mais lento (ponto frio).

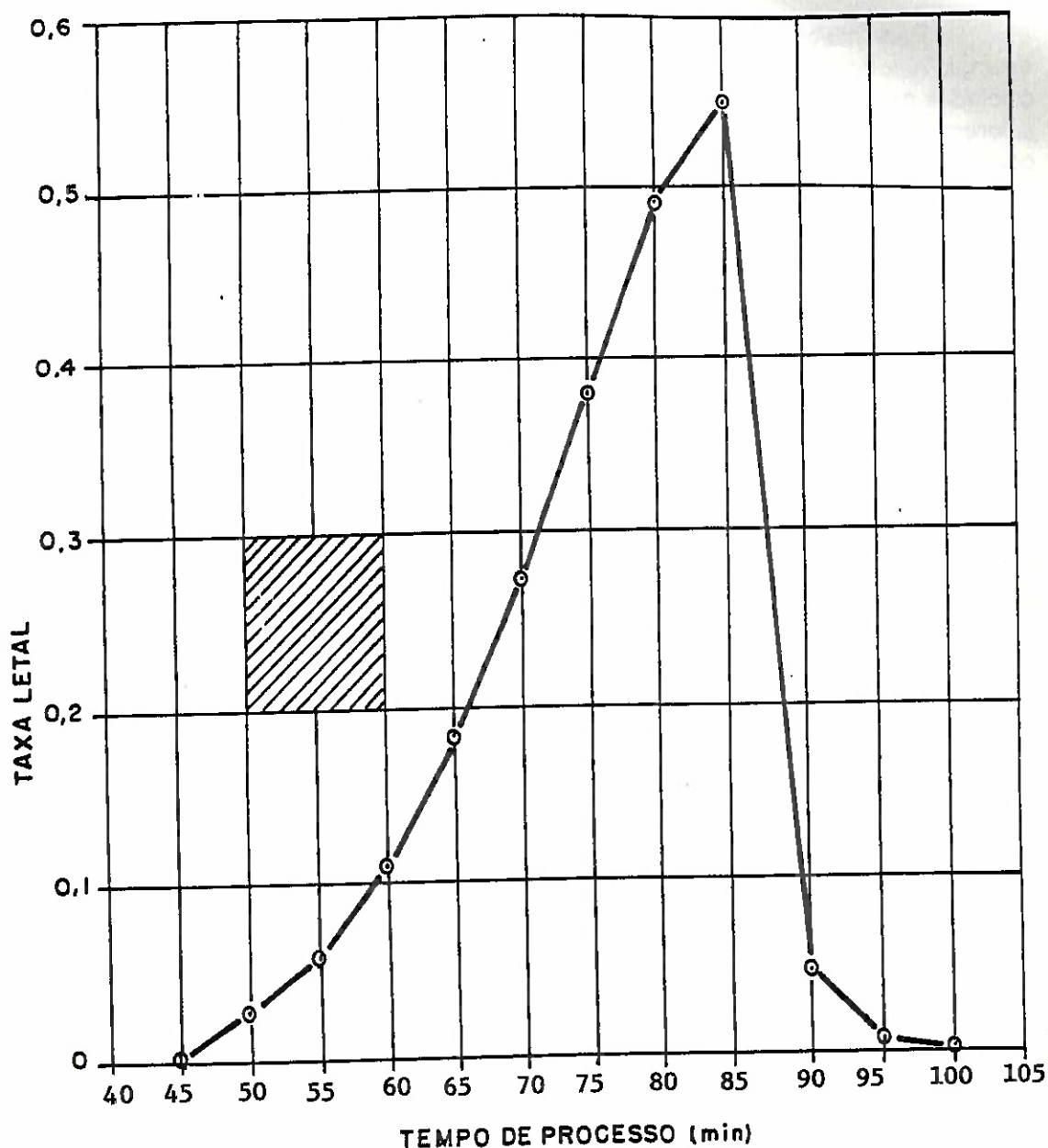


FIGURA 3. Gráfico da taxa letal para cálculo do valor F_0 .

A normalização das áreas é feita da seguinte forma: toma-se uma área qualquer da figura, quadrangular ou retangular, multiplicando-se os valores de seus lados obtidos da escala do gráfico e o resultado é dado em unidades de esterilização (F_0). Isso significa que aquela área escolhida corresponde ao número obtido de unidades de esterilização. Portanto, ao se medir a área abaixo da curva do processo, pode-se calcular quantas vezes ela contém a área escolhida (referência) e este número, quando multiplicado pela unidade de esterilização correspondente resulta no valor F_0 total do processo. Por questões de simplificação nos cálculos, sugere-se sempre a escolha de uma área de referência, cujos lados, quando multiplicados entre si, resultem em uma unidade de esterilização igual a 1,0 (por exemplo: $x = 5$ e $y = 0,2$; $x = 2$ e $y = 0,5$; $x = 10$ e $y = 0,1$), pois daí o valor de F_0 total será o correspondente à relação entre a área total e a área de referência.

Para maior clareza deste método de cálculo passa-se, a seguir, à discussão de um exemplo hipotético de um processo de esterilização. Imagine que os dados da Tabela 2 foram coletados de um processo térmico cujo valor F_0 se pretende calcular. Como na Tabela 2 também já foram dispostos os valores das taxas letais correspondentes às temperaturas do processamento, pode-se passar à construção do gráfico ilustrado na Figura 3. Neste gráfico demarca-se uma pequena área de referência cujos lados medem $\Delta TL = 0,1$ e $\Delta t = 10\text{min}$, correspondente, portanto, a uma unidade de esterilização igual a 1,0. No caso, a área de referência mede $2,5\text{cm} \times 2,0\text{cm}$, ou seja, $5,0\text{cm}^2$. Como a área total abaixo da curva, medida com um planímetro, é de $53,0\text{cm}^2$ chega-se à conclusão de que o F_0 total deste processamento é de 10,6 minutos.

$$F_0 = 53,0/5,0 = 10,6\text{min}$$

A medida da área abaixo da curva pode ser feita de várias maneiras, como, por exemplo: pela utilização de planímetro ou pela pesagem de recorte da área-referência e da área abaixo da curva, quando o papel utilizado é homogêneo, ou pela regra trapezoidal.

Pela regra trapezoidal é necessário dividir a área abaixo da curva em espaços iguais no eixo das abscissas, definindo-se estes espaços com um valor constante x , por exemplo. Cada linha divisória terá uma distância no eixo das ordenadas até encontrar a curva do processo e essas distâncias são definidas como $y_0, y_1, y_2 \dots y_n$. A área total abaixo da curva é dada por:

$$A = x (y_0/2 + y_1 + y_2 + \dots + y_n / 2) \quad (7)$$

No mesmo exemplo apresentado à Figura 3, o cálculo da área pela regra trapezoidal daria:

$$A = 1,0 \frac{(0,05 + 0,70 + 1,50 + 2,75 + 4,58 + 6,85 + 9,5 + 12,25 + 13,75 + 1,20 + 0,22 + 0,05)}{2}$$

$$A = 53,35\text{cm}^2$$

Neste caso ter-se-ia que:

$$F_0 = 53,35/5,0 = 10,67\text{min}$$

Verifica-se que, nos dois casos, os valores de F_0 são muito semelhantes, apresentando diferença apenas na casa dos centésimos de minuto, o que é perfeitamente aceitável. Não há como dizer qual das formas de cálculo é a mais precisa. Aconselha-se ao usuário utilizar aquela com a qual ele esteja mais familiarizado e seguro do seu uso.

O gráfico da Figura 3 ainda permite a observação de que os primeiros 45 minutos de aquecimento, para este produto e embalagem, praticamente não têm qualquer efeito letal. Por outro lado, o momento que antecede o corte do aquecimento e início do resfriamento é aquele que apresenta o maior efeito letal. Pode-se ainda observar que, para este produto e embalagem, os primeiros 10 minutos de resfriamento ainda apresentam um efeito letal significativo. Este efeito pode ser calculado e, se desejado, deduzido do valor do F_0 total, ficando como uma segurança adicional ao processo.

No caso presente ter-se-ia:

$$A_{resfr} = 13,75/2 + 1,20 + 0,22 + 0,05/2 = 8,32$$

$$F_{oresfr} = 8,32 / 5,0 = 1,66$$

$$F_{oaquec} = F_{ototal} - F_{oresfr}$$

$$F_{oaquec} = 10,67 - 1,66 = 9,01\text{min}$$

3.2 CÁLCULO DE F_0 PELO MÉTODO DE PATASHNIK

PATASHNIK (1953) desenvolveu um método de cálculo do valor de esterilização bem mais prático do que o método gráfico, pois dispensa qualquer desenho e trabalha direto com os dados da taxa letal. Ele demonstrou ainda que o método apresentou resultados com desvios muito pequenos, quando comparados aos resultados obtidos pelo método gráfico.

O método de Patashnik baseia-se na interpretação dos dados, utilizando a regra trapezoidal. Esta poderia ser simplificada se o primeiro e o último ponto fossem tomados a um valor zero, resultando em:

$$A = x (y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}) \quad (8)$$

Uma simplificação adicional seria tomar os valores de y diretamente como os valores das taxas letais correspondentes e o valor de x como o intervalo de tempo entre cada medida. Assim, o valor F_0 poderia ser calculado diretamente por:

$$F_0 = \Delta t (TL_1 + TL_2 + \dots + TL_{n-1}) \quad (9)$$

Para que a equação 9 possa ser utilizada há, no entanto, a exigência de que as medidas de temperatura sejam tomadas, sempre a um mesmo intervalo de tempo (Δt). PATASHNIK (1953) ainda sugere em seu trabalho que, para a maioria dos processos, as medidas de temperatura devem ser tomadas a intervalos de tempo da ordem de 4 a 6 minutos para que os resultados dos cálculos não apresentem desvios superiores a 5%, os quais poderiam afetar a segurança do processo. Para processos muito curtos, como, por exemplo, produtos com aquecimento por convecção e acondicionados em pequenas embalagens, os intervalos de medida das temperaturas ainda devem ser mais reduzidos para garantir um número suficiente de determinações para o cálculo do F_0 .

Aplicando-se, então, o método de Patashnik diretamente aos dados do Quadro 2, tem-se:

$$F_0 = 5,0 (0,002 + 0,028 + 0,059 + \dots + 0,002) = 10,67\text{min}$$

Verifica-se que o resultado é semelhante àquele obtido pela aplicação, ao método gráfico, da regra trapezoidal e isto já era de se esperar, uma vez que a base deste método assenta-se no uso da regra trapezoidal com uma pequena simplificação.

É importante destacar que quando se deseja determinar o valor F_0 apenas de uma parte do processamento pelo método de Patashnik, esta simplificação não deve ser feita e a equação mais correta a ser usada no cálculo é:

$$F_0 = x (TL_0/2 + TL_1 + TL_2 + \dots + TL_{n-1} + TL_n/2) \quad (10)$$

Por exemplo, se no processamento anterior se quiser saber o efeito letal apenas dos primeiros 80 minutos, o cálculo de F_0 será:

$$F_0 = 5,0 (0,002/2 + 0,028 + 0,059 + 0,110 + 0,182 + 0,275 + 0,380 + 0,490/2)$$

$$F_0 = 6,40\text{min}$$

Deve-se destacar ainda que o método de Patashnik, além de trazer grande simplificação ao cálculo de F_0 , permite que se programe uma calculadora, de tal forma que o cálculo vá sendo efetuado à medida que as temperaturas vão sendo medidas durante o processamento, facilitando muito o acompanhamento do processo.

4. CÁLCULO DO TEMPO DE PROCESSO PARA UM DETERMINADO F_0

Embora, com tudo o que foi até aqui discutido, seja relativamente fácil calcular o valor F_0 de um determinado processamento, na prática, as situações reais representam, muitas vezes, necessidades um pouco diferentes. É muito comum, por exemplo, desejar aplicar um determinado valor F_0 a um produto e, a partir disto, definir as condições de processamento.

Nestes casos, a definição das condições de processamento utilizando o método genérico só será possível após a realização de 3 a 4 ensaios a uma determinada temperatura de processamento e com tempos de processamento diferentes. Em seguida efetua-se o cálculo do valor F_0 para cada situação (Figura 4) e os dados obtidos de F_0 em função do tempo de processamento podem ser locados em gráfico comum (Figura 5), de onde se pode, então, por interpolação, obter o tempo de processo requerido para a obtenção do valor F_0 desejado. Neste caso, recomenda-se, ainda, que após esta definição, um ensaio real nas condições estabelecidas seja efetuado para uma checagem final com a meta estipulada e, se necessário, um ajuste final mais fino seja feito.

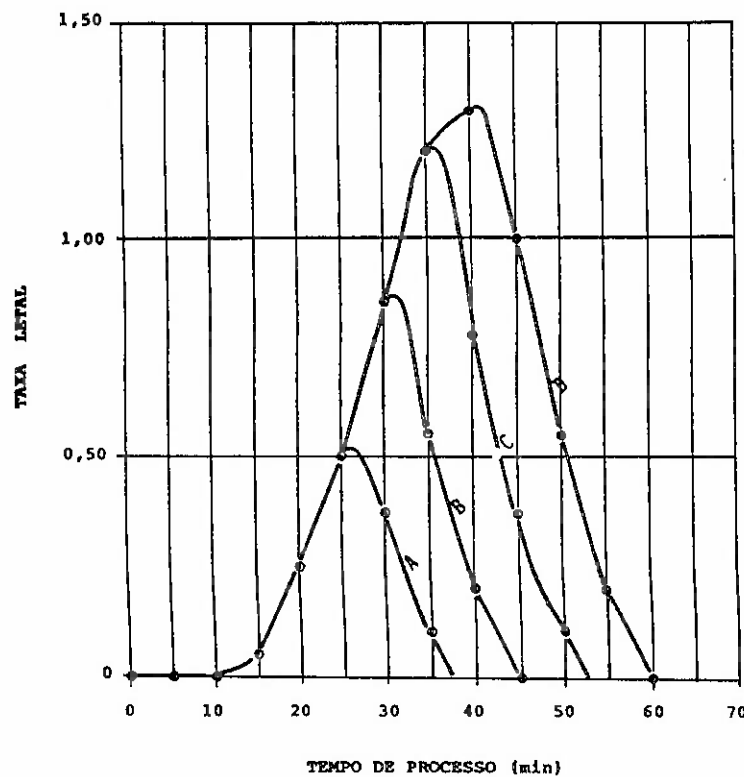


FIGURA 4. Curvas de taxa letal para diferentes tempos de processamento térmico (A = 25min, B = 30min, C = 35min e D = 40min).

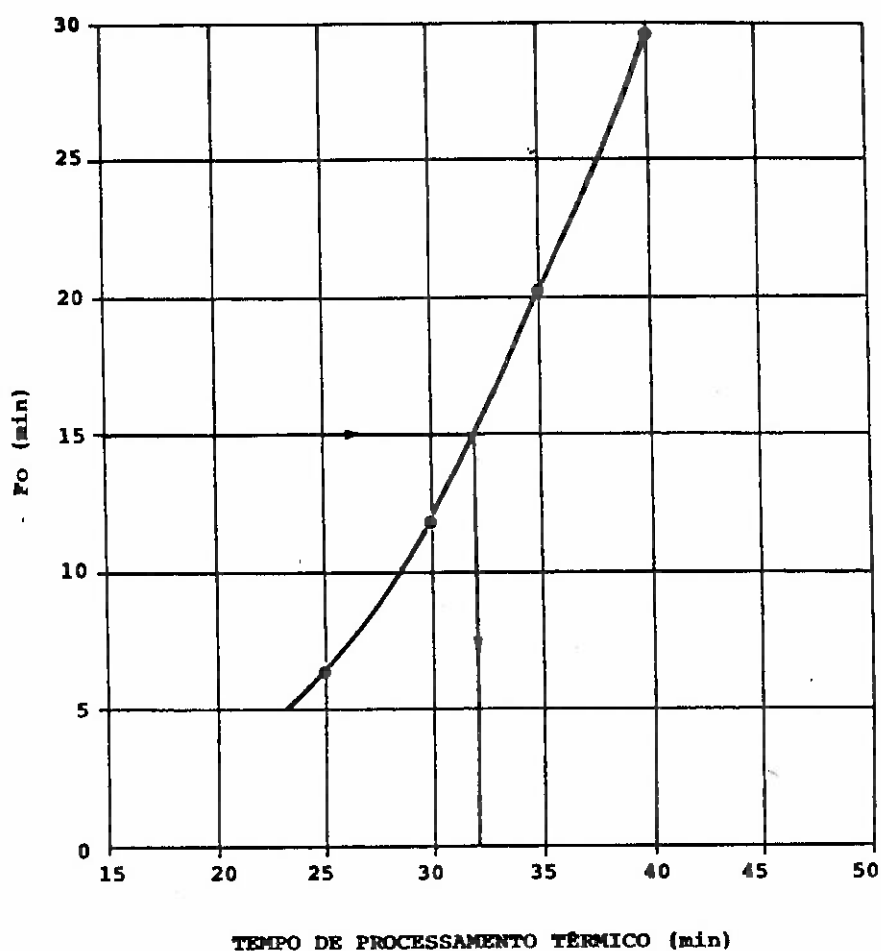


FIGURA 5. Curva de valores F_0 em função do tempo de processamento térmico.

Pode-se utilizar as curvas apresentadas nas Figuras 4 e 5 para se definir um processamento com um determinado valor F_0 .

A título de exemplo suponha-se que se deseja aplicar um tratamento térmico a um determinado produto, numa determinada embalagem, de tal forma que o seu F_0 seja igual a 15 minutos. Suponha ainda que 4 ensaios, a uma mesma temperatura de processo, tenham sido efetuados, resultando nos perfis de tempo/temperatura apresentados na Figura 4.

Utilizando-se o método de Patashnik chega-se aos seguintes valores de F_0 :

Tempo de processo (min)	25	30	35	40
F_0 total (min)	6,4	11,8	20,2	29,5

Com esses valores constrói-se a Figura 5, na qual uma curva é traçada pelos pontos marcados. Entra-se nesta curva com o valor de F_0 desejado e tira-se o tempo de processo que será necessário para o tratamento térmico àquela temperatura.

$$F_0 \text{ desejado} = 15 \text{ min} \quad \rightarrow \quad t_p = 32 \text{ min}$$

Portanto, neste exemplo, o tempo de processo necessário será de 32 minutos. Após novo ensaio nas condições estabelecidas pode-se chegar a uma situação mais ajustada que estipula um tempo de processo, por exemplo, de 31 ou 33 minutos.

A rigor inúmeras outras situações ocorrem, na prática, que apresentam uma maior dificuldade de solução apenas com o uso do método genérico; para algumas destas situações, no entanto, o método matemático pode trazer uma solução bastante satisfatória e este será o assunto da próxima seção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JONSSON, U., SNYGG, B.G., HARNULV, B.G., ZACHRISSON, T. Testing two models for the temperature dependence of the heat inactivation rate of *Bacillus stearothermophilus* spores. *Journal of Food Science*, v.42, p.1251-2, Chicago, 1977.
- PATASHNIK, M. A Simplified procedure for thermal process evaluation. *Food Technology*, v.7, n.1, p.1-6, Chicago, 1953.
- PFLUG, I.J. *Microbiology and engineering of sterilization processes*. 7.ed. Minneapolis: Environmental Sterilization Laboratory, 1990.
- QUAST, D.G. *Cálculo da intensidade de esterilização e cozimento de alimentos*. Campinas: ITAL, 1976. 59p. (Instruções Técnicas, 10).
- STUMBO, C. R. *Thermobacteriology in food processing*. 2.ed. New York: Academic Press, 1973.

**MÉTODO MATEMÁTICO PARA CÁLCULO DA
PENETRAÇÃO DE CALOR E DA LETALIDADE DO
PROCESSO TÉRMICO**

Denise Calil Pereira JARDIM
Alfredo de Almeida VITALI

1. 1. 1.

1. INTRODUÇÃO

Para se estabelecer cientificamente um processo térmico para alimentos de baixa acidez, é essencial conhecer as características de resistência de destruição térmica dos esporos das bactérias-alvo. Dois fatores definem a resistência dos esporos: os valores D e z , já citados no Capítulo III. Também deve-se obter os parâmetros de penetração de calor f_h , j_h , f_c e j_c , de dados experimentais de um processamento térmico.

A taxa de aquecimento de um produto em um recipiente é função da geometria do recipiente, de suas propriedades físicas e das características da transferência de calor do produto ou do recipiente, conforme descrito no Capítulo II.

Conforme destacado no Capítulo III, a temperatura do produto em diferentes estágios do processamento é determinada no ponto de aquecimento mais lento do recipiente, zona crítica em que há maior probabilidade de sobrevivência de microrganismos, pois alcançará menor valor letal no término do processo.

A descrição física da transferência de calor é relativamente complexa, entretanto, foram desenvolvidos modelos matemáticos simplificados que se mostram extremamente úteis no tratamento dos processos de transferência de calor na área de esterilização (BALL, 1923, BALL, OLSON, 1957, STUMBO, 1973, HAYAKAWA, 1970).

2. CURVA DO HISTÓRICO DA TEMPERATURA

A curva de penetração de calor representa a relação entre a temperatura e o tempo em um determinado ponto do produto e a velocidade da transferência de calor mostra a rapidez com que esta acontece.

Como exemplo, observem-se os dados da Tabela 2, Capítulo III, de um processamento térmico. A curva do histórico da temperatura deste processamento está representada na Figura 1.

Os dados de tempo corrigido e temperatura são plotados em um papel semilogarítmico. Para construir a curva de aquecimento, a diferença entre T_1 e T é plotada na escala logarítmica contra o TB na escala linear. É uma prática para a curva de aquecimento girar a folha do papel gráfico de 180 graus, antes de se plotar os dados, de forma que a escala logarítmica aumente do topo para baixo. A Figura 2 ilustra uma curva de aquecimento. A temperatura pode ser plotada diretamente após se estabelecer que o ponto do topo será referente a um valor da temperatura de aquecimento diminuído de 1°C .

Para a curva de resfriamento, a folha do papel gráfico é mantida na sua posição normal e a temperatura do produto é plotada diretamente após se estabelecer que a linha de baixo do papel é considerada como o valor da temperatura do meio de resfriamento acrescida de 1° , ou seja, o último valor da temperatura antes do resfriamento. A Figura 3 ilustra uma curva de resfriamento.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O TEMPO DE AQUECIMENTO

Durante um ciclo de esterilização, o tempo de processo deve ser cronometrado a partir do momento em que a temperatura do meio de aquecimento ou da autoclave atinge o seu valor programado. Na prática, sabe-se que a autoclave não atinge a temperatura programada instantaneamente havendo um tempo de subida da temperatura t chamada "come-up time" (CUT), conforme indicado na Figura 1.

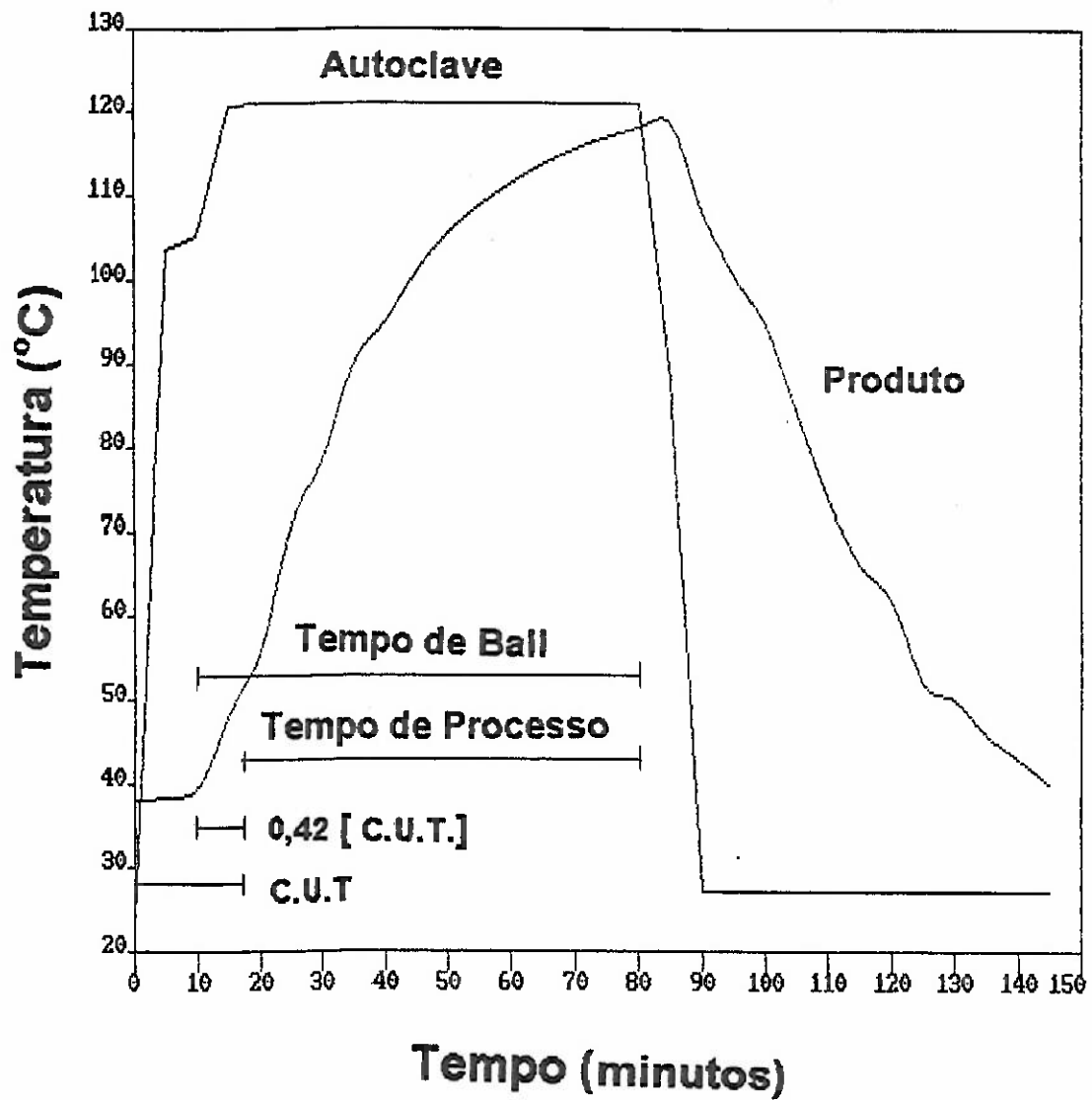


FIGURA 1. Curva do histórico da temperatura e tempo de esterilização de um alimento. $T_1 = 121^\circ\text{C}$; $T_2 = 27^\circ\text{C}$ e $\text{CUT} = 17$ minutos.

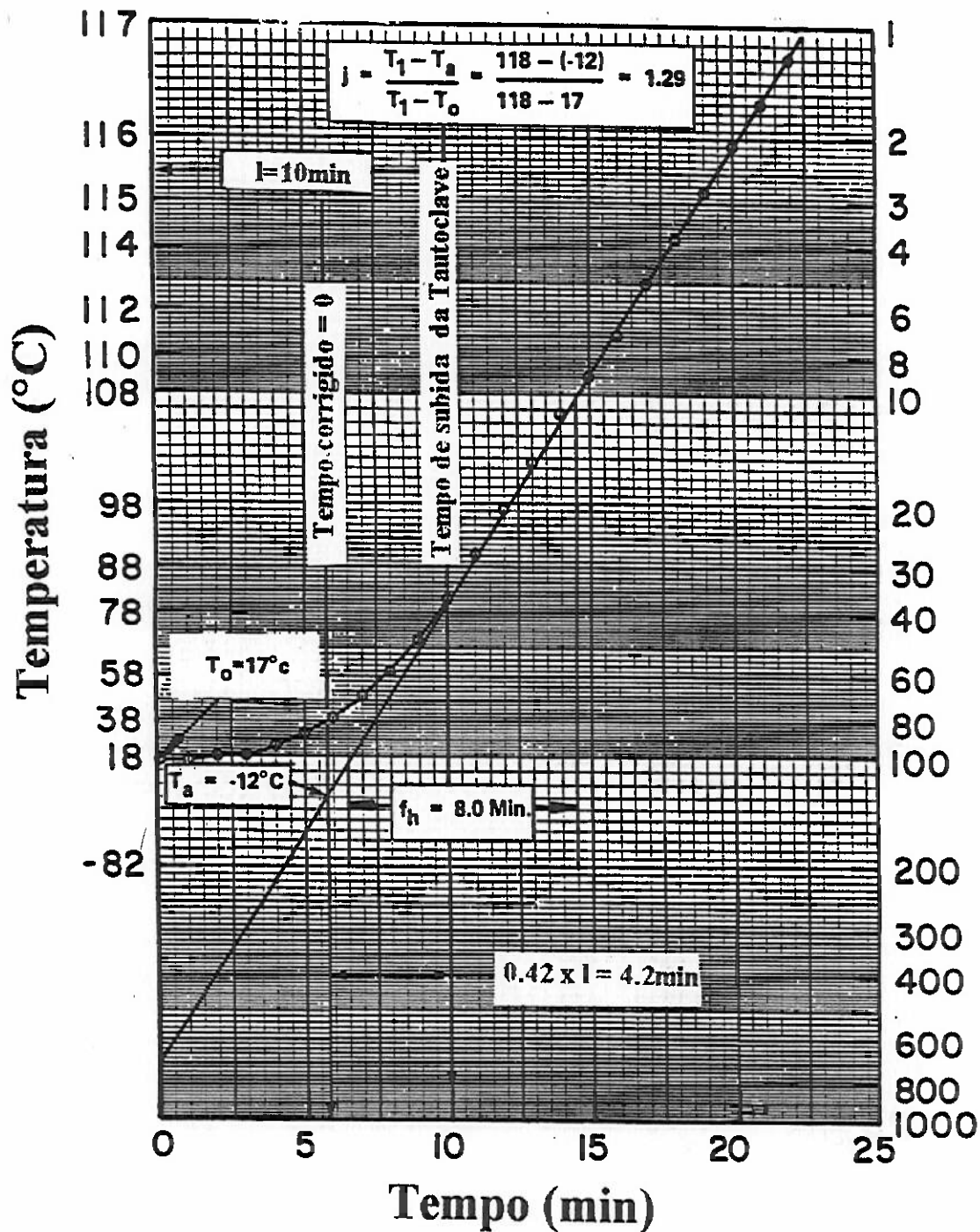


FIGURA 2. Exemplo de uma curva de aquecimento (temperatura do meio de aquecimento = 118°C), construída em papel de gráfico semilogarítmico de acordo com o método de BALL.

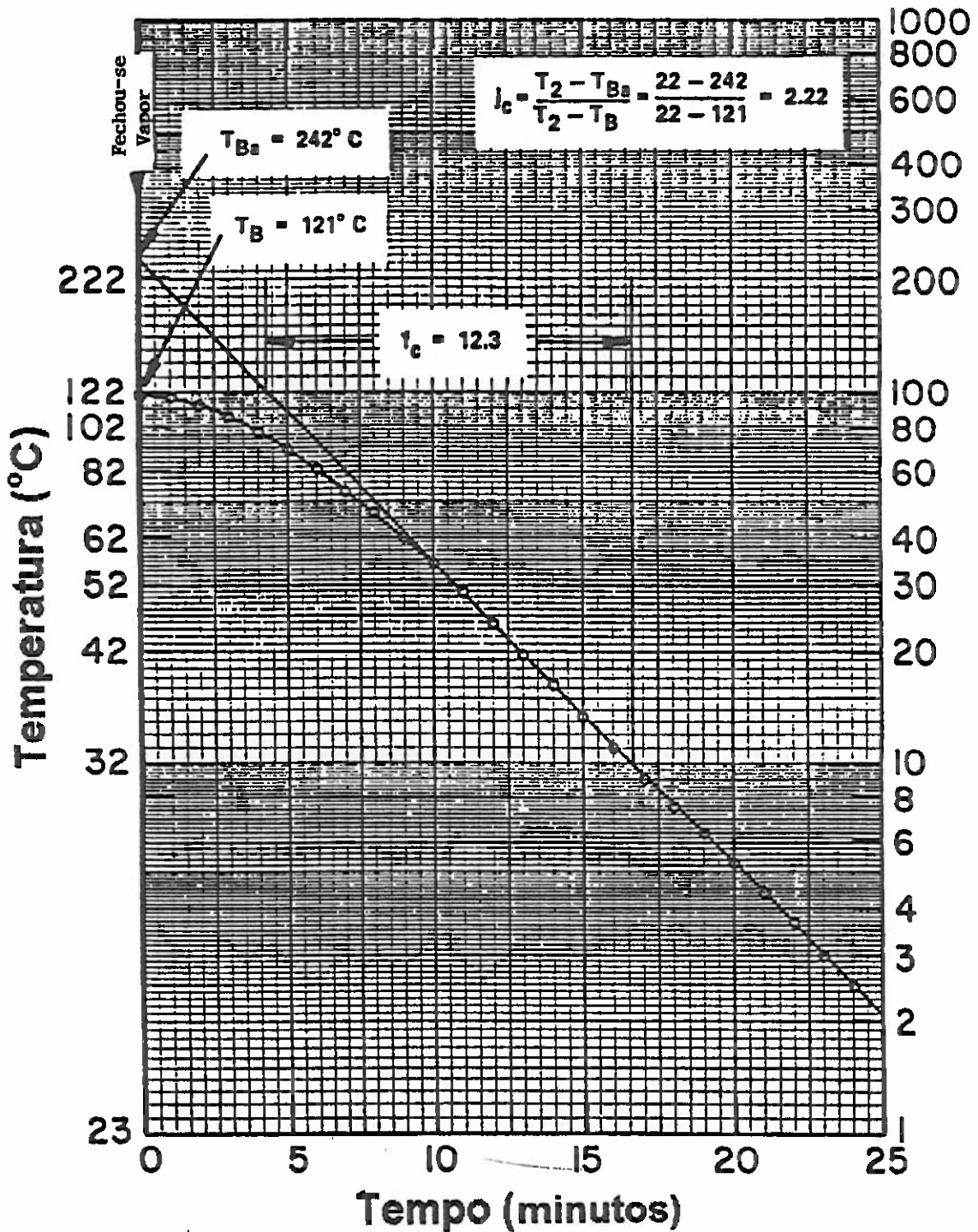


FIGURA 3. Exemplo de uma curva de resfriamento (temperatura do meio de resfriamento = 22°C), construída em papel gráfico semilogarítmico de acordo com o método de BALL.

O mesmo ocorre no resfriamento onde a temperatura do meio não cai instantaneamente. Portanto, o tempo de esterilização deve ser corrigido para compensar a contribuição no aquecimento do produto pelo "come-up time".

As experiências mostram que essa contribuição é da ordem de 42% do CUT. Portanto, o tempo de esterilização corrigido, conhecido como tempo de processo de BALL (t_B), consiste no intervalo de tempo em que a autoclave trabalha à temperatura de processo (t_p), acrescido de 42% do tempo de subida da temperatura da autoclave (I), estabelecido por BALL (1923), ou seja:

$$t_B = t_p + 0,42 I \quad (1)$$

4. TRATAMENTO DOS DADOS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO: CURVAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

Para melhor compreensão são apresentados os símbolos geralmente utilizados e suas definições:

F_T = valor de esterilização a uma temperatura de referência T .

F_0 = valor de esterilização quando o valor $z = 10^\circ\text{C}$ (18°F) e a temperatura de referência é $121,1^\circ\text{C}$ (250°F).

f = parâmetro do efeito da temperatura. É o tempo requerido para a linha reta da curva de aquecimento ou resfriamento atravessar um ciclo logarítmico, ou seja, é o tempo requerido para a diferença de temperatura entre o produto e o meio (de aquecimento ou resfriamento) diminuir ou aumentar em 90%.

f_c = parâmetro do efeito da temperatura do resfriamento.

f_h = parâmetro do efeito da temperatura do aquecimento.

j = fator lag. Termo usado para relacionar a temperatura inicial real do produto com a temperatura que intercepta a escala logarítmica do gráfico.

j_h = fator lag, aquecimento = $(T_1 - T_a)/(T_1 - T_0)$

j_c = fator lag, resfriamento = $(T_2 - T_{Ba})/(T_2 - T_B)$

g = diferença de temperatura = $(T_1 - T)$, onde T é a temperatura do produto no ponto de aquecimento mais lento no final do processo de aquecimento, ou em qualquer tempo correspondente.

$R = f_h/U$.

t = tempo.

t_B = tempo de processo de BALL. É o tempo efetivo de processo. O tempo de processo, t_p , mais o tempo equivalente calculado à temperatura de aquecimento programada do "come-up time" da autoclave.

I = "come-up time" (CUT), tempo de subida da temperatura ou tempo decorrido desde a abertura do vapor até a autoclave atingir a temperatura de processo programada T_1 .

t_c = tempo de resfriamento. Tempo a partir do fim do aquecimento e início do resfriamento.

- t_h = tempo de aquecimento medido a partir do momento em que o vapor foi aberto.
- t_p = tempo de processo. Tempo medido no momento em que a autoclave atingiu a temperatura programada até quando o vapor foi fechado.
- T = temperatura variável do produto.
- T_0 = temperatura inicial do produto, medida no ponto de aquecimento mais lento do recipiente. T_0 é medida quando $t_h = 0$. Idealmente, a temperatura deverá ser uniforme em todo o recipiente em $t_h = 0$, porque a variação da temperatura pode afetar o valor j .
- T_1 = temperatura do meio de aquecimento.
- T_2 = temperatura do meio de resfriamento.
- T_a = intercepto da linha reta da primeira curva de aquecimento com o eixo da escala logarítmica situada no tempo corrigido. Também denominada temperatura pseudo-inicial.
- T_B = temperatura do produto no início do resfriamento. Temperatura do produto em $t = t_B$.
- T_{Ba} = intercepto da linha reta da curva de resfriamento com o eixo da escala logarítmica.
- U = valor de esterilização à temperatura do meio de aquecimento (FT_1)
- α = difusividade térmica
- ρ = $U_{\text{aquecimento}}/U_{\text{total}}$. Contribuição letal do aquecimento em relação à letalidade total do processo

5. AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO TÉRMICA PELO MÉTODO MATEMÁTICO

O Método Matemático de BALL e outros métodos similares são simples e bastante úteis para avaliar ou especificar um processo de esterilização. A avaliação da letalidade de um processo por este método é consideravelmente mais rápida do que pelo Método Geral.

Todos os métodos matemáticos existentes baseiam-se na curva de aquecimento semilogarítmica conforme apresentada na Equação (2).

5.1 CURVA DE AQUECIMENTO

O objetivo principal da curva de aquecimento é determinar os valores f_h e j_h . Os dados da porção linear da curva são descritos pela equação da reta:

$$\log (T_1 - T) = -t/f_h + \log [j_h (T_1 - T_0)] \quad (2)$$

A Figura 2 ilustra esta equação. Observe-se, como citado anteriormente, que por uma questão de convenção e uso prático, o papel semilogarítmico é girado de 180° .

5.2 CURVA DE RESFRIAMENTO

O objetivo principal da curva de resfriamento é calcular f_c e j_c , que são os parâmetros da penetração de calor determinados na curva de resfriamento.

A relação que é assumida para descrever os dados plotados do resfriamento para a porção linear da curva é dada pela equação da reta:

$$\log (T - T_2) = -tc/fc + \log [jc (T_B - T_2)] \quad (3)$$

Quando se usa o método de BALL no cálculo do efeito letal da porção do resfriamento, o valor $jc = 1,41$ é geralmente assumido.

A Figura 3 ilustra esta equação. Observe-se que, neste caso, o papel semilogarítmico é mantido em sua posição normal.

A letalidade durante esta fase ocorre no começo do resfriamento, geralmente antes da linha reta da curva do resfriamento e é influenciada mais pela temperatura do produto e pela magnitude do valor jc do que por uma pequena variação na temperatura do meio de resfriamento.

5.3 CURVAS QUEBRADAS

Para certos tipos de produtos e certas condições de aquecimento, os dados de tempo-temperatura não são representados corretamente por uma única linha reta e duas ou mais linhas são requeridas para descrevê-los. As análises de penetração de calor usualmente limitam-se aos dados de aquecimento. A Figura 4 ilustra um exemplo de curva quebrada.

Para o caso de curva de aquecimento quebrada tem-se a equação:

$$\Delta t = fh \log jh \Delta T_0 + (f_2 - fh) \log \Delta T_2 - f_2 \log \Delta T \quad (4)$$

onde:

$$\Delta T_2 = T_1 - T_{\text{quebra}}; \quad \Delta T = T_1 - T; \quad \Delta t_0 = T_1 - T_0$$

5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CURVAS

- Os termopares de medida devem estar calibrados e na mesma base de calibração.
- A importância de serem desenhadas as linhas ou as curvas é porque dão uma vista real dos dados, assim como suas variações são consideradas. A linha deve ser estendida por, no mínimo, 3 ciclos logarítmicos.
- Deve-se construir as curvas com o maior número de pontos possível.

5.5 VALOR DA LETALIDADE DO PROCESSO

BALL (1923) considerou que o valor da porção de aquecimento de um processo térmico, U_h , expresso em minutos equivalentes à temperatura do meio de aquecimento é uma função do fh da curva de aquecimento e a diferença entre a temperatura final do produto e a temperatura do meio de aquecimento ($T_1 - T$) no final do período de aquecimento. BALL escolheu o termo g para representar esta diferença de temperatura.

Reescrevendo a Equação 2, colocando-se g como $(T_1 - T)$ e t_B como t , tem-se a Equação 5 que é a base da análise pelo Método Matemático.

$$\log g = -tB/fh + \log [jh (T_1 - T_0)] \quad (5)$$

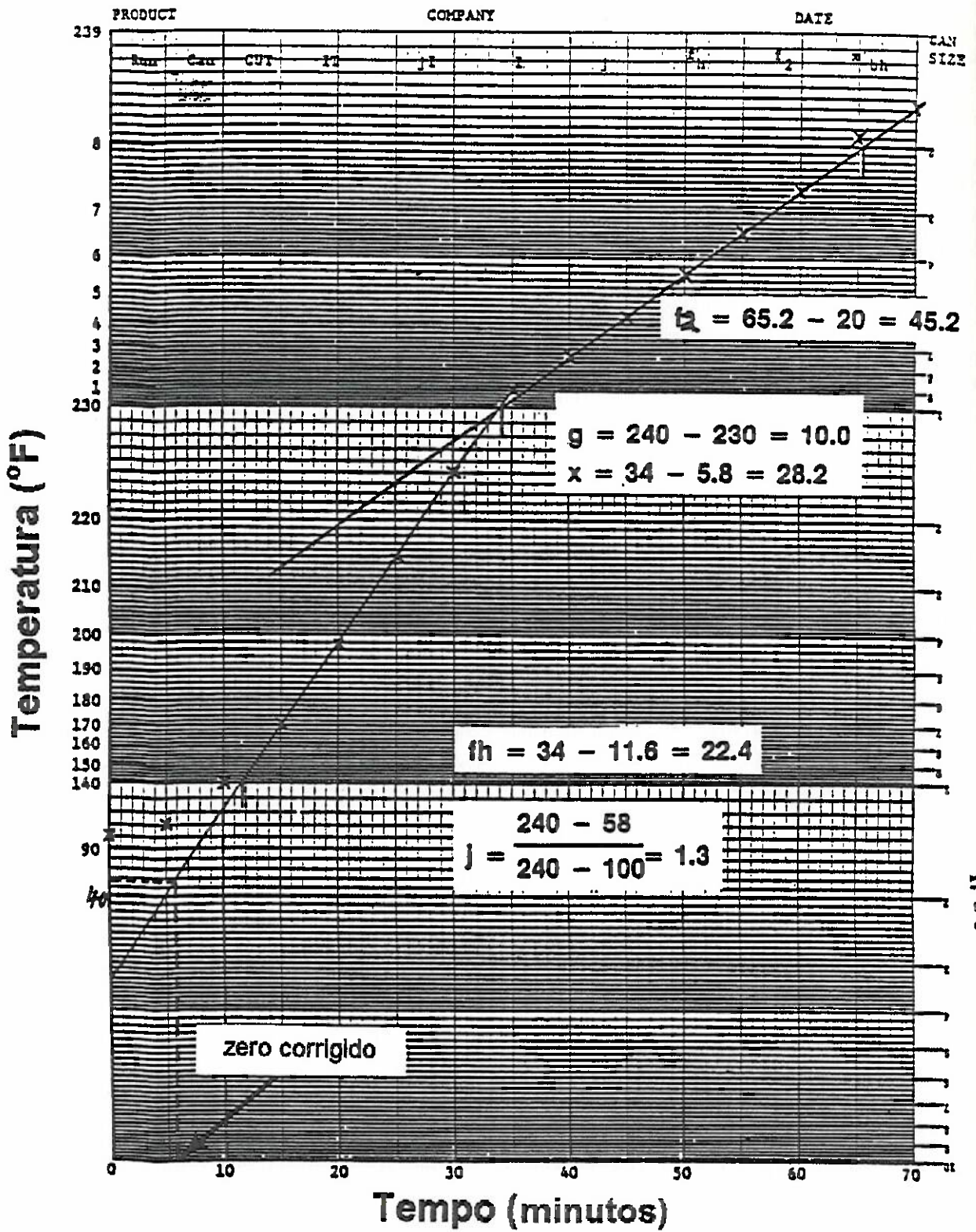


FIGURA 4. Representação de uma curva quebrada de aquecimento.

Se as condições do processo térmico (t_B , T_1 , T_0 , f_h e j_h) são conhecidas, g pode ser calculado diretamente e, em seguida, U e FT podem ser calculados. Quando T_1 , T_0 , f_h e j_h são conhecidos junto com FT , pode-se calcular U e determinar R ($R = f_h/U$), então $\log g$ e t_B podem ser calculados.

BALL (1923, 1928) incluiu o valor letal da porção de aquecimento e de resfriamento do processo térmico em um valor único U . Mais recentemente BALL, OLSON (1957), HICKS (1958) e outros reportaram a letalidade do aquecimento como U_h e a do resfriamento como U_c , calculadas separadamente.

Conhecendo-se o valor de g no final do aquecimento e o valor letal de todo o processo, pode-se estimar a contribuição letal da fase de aquecimento pelo uso da Figura 5, que relaciona ρ ($U_{\text{aquecimento}}/U_{\text{total}}$) com g .

Quando se baseia o cálculo do efeito letal de um processo em um tempo equivalente a uma temperatura do meio de aquecimento (U), é possível converter a outras temperaturas de referência pela seguinte equação:

$$FT_{\text{ref}}/FT_1 = 10^{[(T_1 - T_{\text{ref}})/z]} \quad (6)$$

Quando a temperatura de referência é $121,1^\circ\text{C}$ e z é 10°C , o FT_{ref} será F_0 e o U será FT_1 , ficando a Equação 6. como:

$$F_0 = U \times 10^{[(T_1 - 121,1)/10]} \quad (7)$$

A análise pelo Método Matemático está relacionada com f_h/U , onde $U = U_h + U_c$, com um g para um dado valor de z (geralmente 10°C ou 18°F).

Simplificadamente, o Método Matemático consiste em determinar U ou t_B quando os parâmetros f_h , j_h e as condições de processamento T_0 e T_1 são conhecidas. O valor de $\log g$ é então calculado pela Equação 5.

No Apêndice II são apresentadas tabelas relacionando $R (= f_h/U)$ com $\log g$. Desta forma, entrando com os valores conhecidos no Apêndice II é possível obter as diferentes condições para a adequação de um novo processo.

Por exemplo: com o valor de $\log g$, obtém-se o valor de R . Sabendo o valor de f_h pode-se calcular t_B pela Equação 5.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CÁLCULOS

- Quando se calcula um processo para um determinado F , o resultado do cálculo é t_B . Quando se aplica o processo considerado $t_p = t_B$, o efeito do "come-up-time" não é levado em conta, portanto, o FT dado ao produto é maior que o F especificado (fator de segurança X consumo de energia e outros fatores).
- O valor f é função do produto e do recipiente. O valor j é função da posição da medida da temperatura no interior do produto.
- No caso de mudança no tamanho do recipiente, sendo o recipiente 1 de dimensões a_1 , l_1 e o recipiente 2 de dimensões a_2 , l_2 , temos:

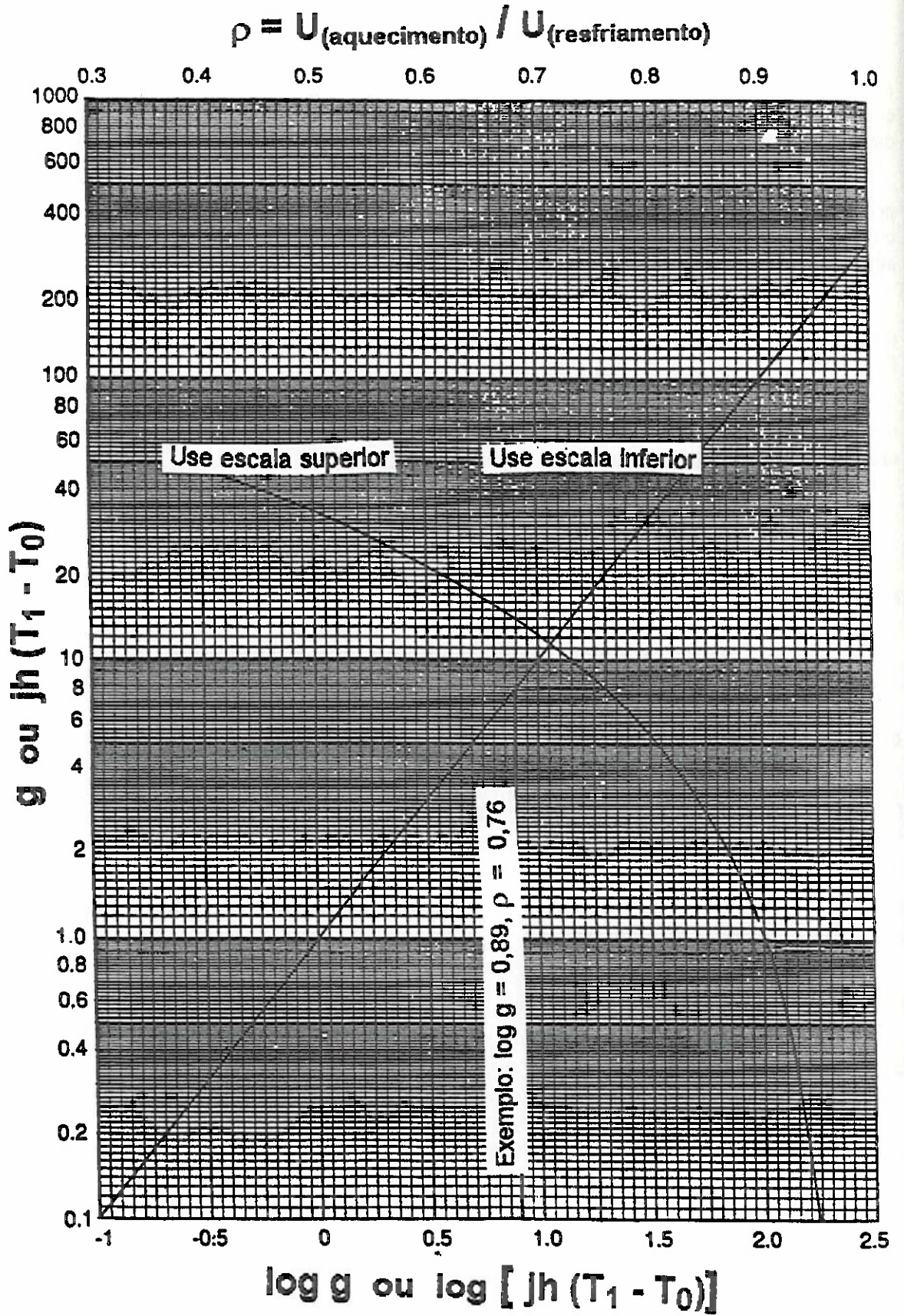


FIGURA 5. Relação de ρ com g .

– Produtos aquecidos por **convecção**:

j_h não depende do recipiente; f_h depende do recipiente, tem-se que f_{h1} é diferente de f_{h2} :

$$f_{h1}/f_{h2} = a_1 l_1 / (a_1 + l_1) \times (a_2 + l_2) / a_2 l_2 \quad (8)$$

tendo o novo valor de f_{h2} , aplica-se a Equação 2 com este valor e calcula-se o novo tempo (t_2) de aquecimento para o novo recipiente.

– Produtos aquecidos por **condução**:

$$f_{h1} / f_{h2} = [(2,4048/a_2)^2 + (\pi/l_2)^2] / [(2,4048/a_1)^2 + (\pi/l_1)^2] \quad (9)$$

- d) No caso de **mudança na temperatura do meio de aquecimento**, quando a temperatura inicial do produto permanece a mesma, f_h e j_h são independentes da temperatura do meio. Neste caso aplica-se diretamente a Equação 2 e calcula-se o tempo de aquecimento para o processo com a nova temperatura do meio.
- e) No caso de **mudança da temperatura inicial do produto**, quando a temperatura do meio permanece a mesma, f_h e j_h são independentes da temperatura inicial do produto. Da mesma forma que no caso anterior, aplica-se diretamente a Equação 2 e calcula-se o novo tempo de aquecimento para o processo com a temperatura inicial do produto diferente.
- f) Para se **estimar a difusividade térmica do alimento** que se aquece por condução em uma embalagem cilíndrica, aplica-se a equação:

$$f_h = 2,303 / [(5,873/a^2) + (9,870/l^2) \alpha] \quad (10)$$

onde:

α = difusividade térmica do produto ($K/\rho C_p$)	[cm ² /min]
K = condutividade térmica	[cal/min cm°C]
ρ = densidade	[g/cm ³]
C_p = calor específico	[cal/g°C]
a, l = dimensões do recipiente	[cm]

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALL, C.O. Determining by methods of calculation, the time necessary to process canned foods. *Bull. Nat. Res. Council Off.*, v.37, p.9-76, 1923.

_____. *Mathematical solution of problems of thermal processing of canned foods*. Berkeley, USA: Public Health University of California Publ., 245p. 1928.

_____. OLSON, F.C.W. *Sterilization in food technology*. New York: McGraw Hill Book, 1957.

HAYAKAWA, K. *Development of formulas for calculating the theoretical temperature history and sterilizing value in a cylindrical can of thermally conductive food during heat processing*. New Brunswick, Rutgers: The State University, 1964 (Ph.D. Thesis).

- HAYAKAWA, K. Experimental formulas for accurate estimation of transient temperatures of food and their application to thermal process evaluation. **Food Technology**, v.24, p.1407-17, Chicago, 1970.
- HICKS, E.W. A revised table of the pH function of BALL and OLSON. **Food Research**, v.23, p.396-400, Chicago, 1958.
- KAREL, M., FENNEMA, O.R., LUND, D.B. **Physical principles of food preservation**. New York: Marcel Dekker, 1975.
- PFLUG, I.J. **Microbiology and engineering of sterilization processes**. 7.ed. Minneapolis: Environmental Sterilization Laboratory, 1990. p.1.1-20.19.
- STUMBO, C.F. **Thermobacteriology in food processing**. 2.ed. New York: Academic Press, 1973.
- _____, PUROHIT, K.S., RAMAKRISHNAN, T.U., EVANS, D.A., FRANCIS, F.J. **CRC Handbook of lethality guides for low-acid canned-foods**. I. Conduction-heating. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1983. 540p.
- _____, **CRC Handbook of lethality guides for low-acid canned-foods**. II. Convection-heating. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1983. 522p.
- VINTERS, J.E., PATEL, R.H., HALABY, G.A. Thermal process evaluation by programmable computer calculation. **Food Technology**, v.29, n.3, p.42-8, Chicago, 1975.

OTIMIZAÇÃO DA ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS

Alfredo de Almeida VITALI
Sílvia Pimentel Marconi GERMER

4/10/18

1. INTRODUÇÃO

Otimização é a escolha da melhor alternativa de um conjunto específico de alternativas. Otimizar, entretanto, requer alguma forma de descrever as alternativas potenciais e algum meio de decidir qual é a melhor.

Enquanto não há nenhum método geral para descobrir uma condição ótima para qualquer problema na indústria de alimentos, existem aproximações apropriadas para muitos desses problemas. Um processador de alimentos necessita identificar uma situação, a qual deve ser otimizada; descrever precisamente esta situação; e, finalmente, aplicar um método analítico apropriado para descobrir uma situação ótima do problema (NORBACK, 1980).

Em processos da indústria de alimentos um dos problemas que requer mais atenção para otimização é a máxima retenção de nutrientes durante a esterilização (LUND, 1977, TEIXEIRA *et al.*, 1975).

2. HISTÓRICO

No início da história da conservação de alimentos enlatados hermeticamente e preservados pelo calor, o principal objetivo foi a obtenção de um produto auto-estável, isto é, que não se deteriorasse quando conservado à temperatura ambiente. Em decorrência do tratamento térmico, células e esporos de microrganismos deteriorantes e patogênicos foram destruídos ou as condições do sistema embalagem-alimento-condições de armazenamento não permitiram sua proliferação.

Com o advento da moderna microbiologia e o entendimento dos processos de contaminação e deterioração por microrganismos patogênicos, associados a alimentos enlatados, surgiram os métodos de avaliação quantitativa de esterilização de alimentos, com o critério na cinética de destruição de esporos de *C. botulinum*, sendo dois deles mais conhecidos e empregados: o Método Genérico ou Gráfico e o Método Matemático.

Esses métodos permitem o cálculo de qualquer processamento térmico, isto é, dentro de uma faixa operacional de temperaturas, inúmeros processos (binômio tempo-temperatura) podem ser calculados, fornecendo a mesma intensidade de esterilização.

Os alimentos, por serem sistemas complexos, apresentam inúmeras reações, cada uma com cinética própria. Dentre estas reações, as de amolecimento de tecidos, escurecimento, mudança de sabor e destruição de nutrientes são as mais conhecidas. Portanto, é de se esperar que a intensidade de transformações das diversas reações seja função das combinações tempo-temperatura possíveis daquele processamento.

Em decorrência do exposto, para uma mesma intensidade de esterilização é possível que sejam obtidos diferentes graus de qualidade para um alimento, dependendo da combinação tempo-temperatura utilizada.

Em uma lata com alimento sólido, o calor se transmite por condução e, logicamente, as camadas mais próximas da superfície interna do recipiente sofrem um tratamento térmico mais severo que o centro geométrico, resultando em uma distribuição de intensidade de transformações de qualidade do produto em função de sua localização dentro da embalagem.

Este fenômeno levou vários pesquisadores a desenvolver métodos de cálculos numéricos, baseados na divisão interna do recipiente em várias regiões e calcular, em cada uma delas, a intensidade de transformação ocorrida durante o processamento térmico.

Para fins práticos, o interessante é conhecer a intensidade de transformação em todo o produto, o que é conseguido pelo cálculo da média em todo o volume do recipiente.

Cada pesquisador apresentou um método de cálculo baseado nos parâmetros do método matemático de cálculo de esterilização: os métodos por computador (TEIXEIRA *et al.*, 1975, LUND, 1977); outros, interpelações complexas em grupos adimensionais (HAYAKAWA, 1969); outro, fórmulas e interpelações (JEN *et al.*, 1971). Em conclusão todos eles são, de certa forma, complicados para sua aplicação de rotina na indústria.

O método de THIJSSSEN *et al.* (1978) é extremamente mais simplificado e permite o cálculo rápido do binômio tempo-temperatura ótimo que minimiza as transformações indesejáveis, para qualquer tipo de recipientes.

O trabalho de OHLSSON (1980) generaliza a otimização de processamento térmico para latas cilíndricas de vários tamanhos e para produtos aquecidos por convecção.

Importante é destacar que todos os métodos aqui citados baseiam-se na utilização de parâmetros cinéticos das reações de interesse, parâmetros esses muitas vezes difíceis de se conseguir na prática. Desta forma, estes métodos servem principalmente como um guia para a estimativa do processamento térmico, o qual deve ser confirmado experimentalmente.

Por causa da complexidade de previsão dos mecanismos de troca de calor por convecção dentro de latas, ainda não existe método prático e confiável de cálculo de otimização de processo para este tipo de aquecimento.

Portanto, para produtos aquecidos por convecção, recomenda-se uma abordagem experimental do problema, baseada em planejamento de várias combinações tempo-temperatura que forneçam o mesmo grau de intensidade de esterilização.

3. MÉTODO DE THIJSSSEN

Baseado em equações analíticas do histórico da distribuição de temperatura no recipiente, na relação entre as reduções da concentração de componentes termolábeis do alimento (microrganismos, nutrientes e fatores sensoriais) e nos parâmetros cinéticos das reações causando essas reduções, este método permite o cálculo rápido da combinação de tempo e temperatura ótimos de processo que minimizem as transformações indesejáveis na esterilização de alimentos.

Para uma temperatura constante do meio de aquecimento com o tempo, conclui-se que a perda de qualidade é minimizada em um certo valor do número de Fourier do tempo de aquecimento. Este valor ótimo do número de Fourier é uma função somente do número de Biot e da relação entre a temperatura inicial do produto, a temperatura da água de resfriamento e a temperatura da autoclave.

Para um valor infinito de Biot e uma temperatura da água de resfriamento igual à temperatura inicial do produto, o valor ótimo do número de Fourier é próximo de 0,5.

Com base nesta conclusão um método simplificado foi desenvolvido. O método é válido para números de Biot maiores que 10, temperatura inicial do produto homogênea igual ou maior que temperatura do meio de resfriamento e recipientes com formas geométricas, incluindo esferas, cilindros e corpos retangulares.

Apresenta-se, a seguir, o roteiro para o cálculo das condições ótimas de processo e da quantidade residual de atributos de qualidade (teor de vitamina, textura, cor, etc.) pelo método de Thijssen.

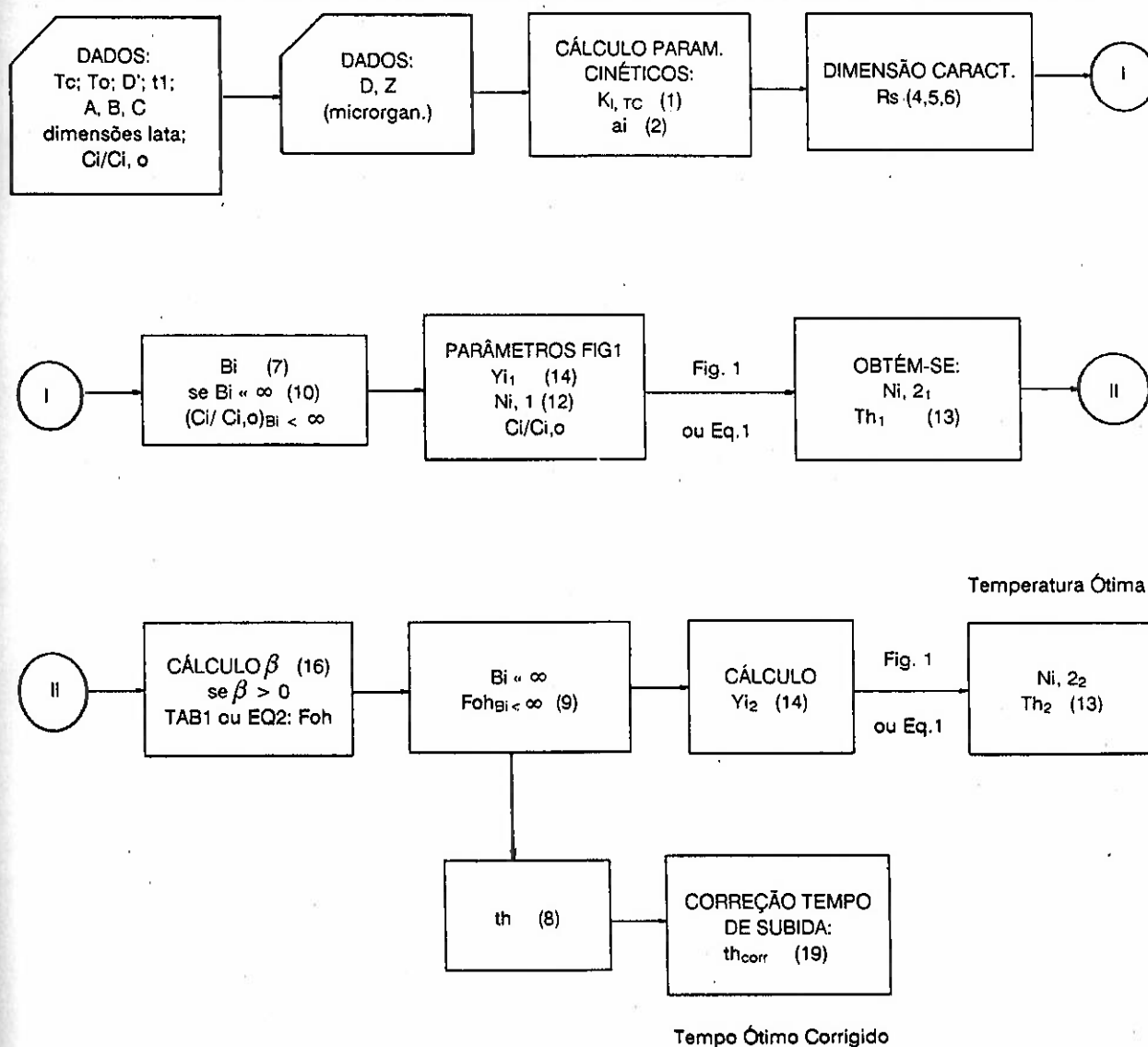
O Fluxograma básico para cálculo das condições ótimas de processo permite a obtenção do binômio tempo-temperatura, para uma determinada intensidade de esterilização desejada, que proporcionará ao produto a mínima transformação de atributos de qualidade desejáveis como, por exemplo, a destruição de vitaminas ou a mudança de cor.

Uma vez obtido este binômio tempo-temperatura, obtém-se, pelo uso do Fluxograma para cálculo de retenção de nutrientes, a concentração final (expressa em percentagem da concentração inicial) daquele atributo de qualidade considerado como, por exemplo, a quantidade residual média de vitamina no produto, ou a intensidade de cor média final.

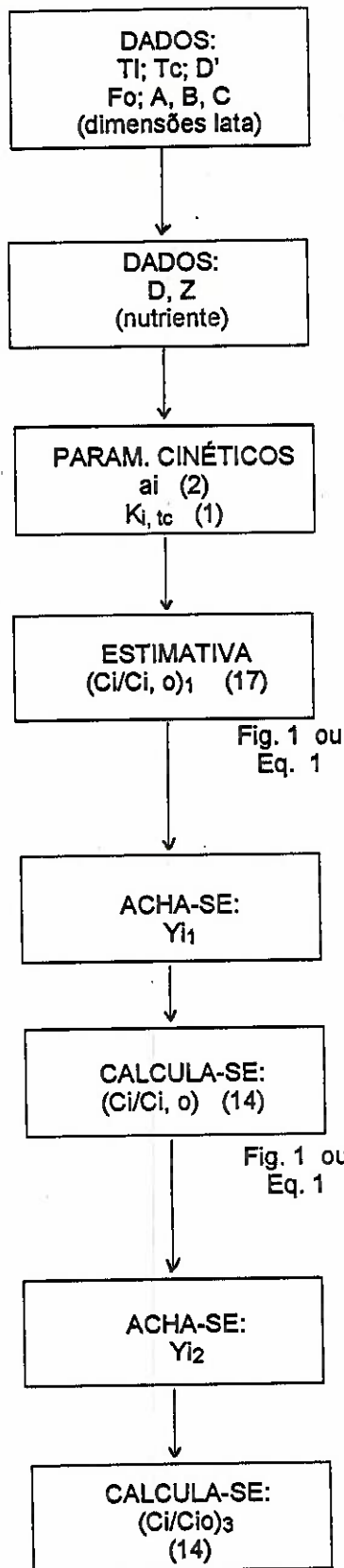
Para o uso do método de Thijssen, necessitam-se dados de várias temperaturas, propriedades térmicas do produto, dimensões da embalagem, a intensidade de esterilização desejada, os parâmetros cinéticos de destruição de microrganismos e dos atributos de qualidade considerados.

Para o uso dos fluxogramas citados são apresentadas as equações e nomenclaturas requeridas.

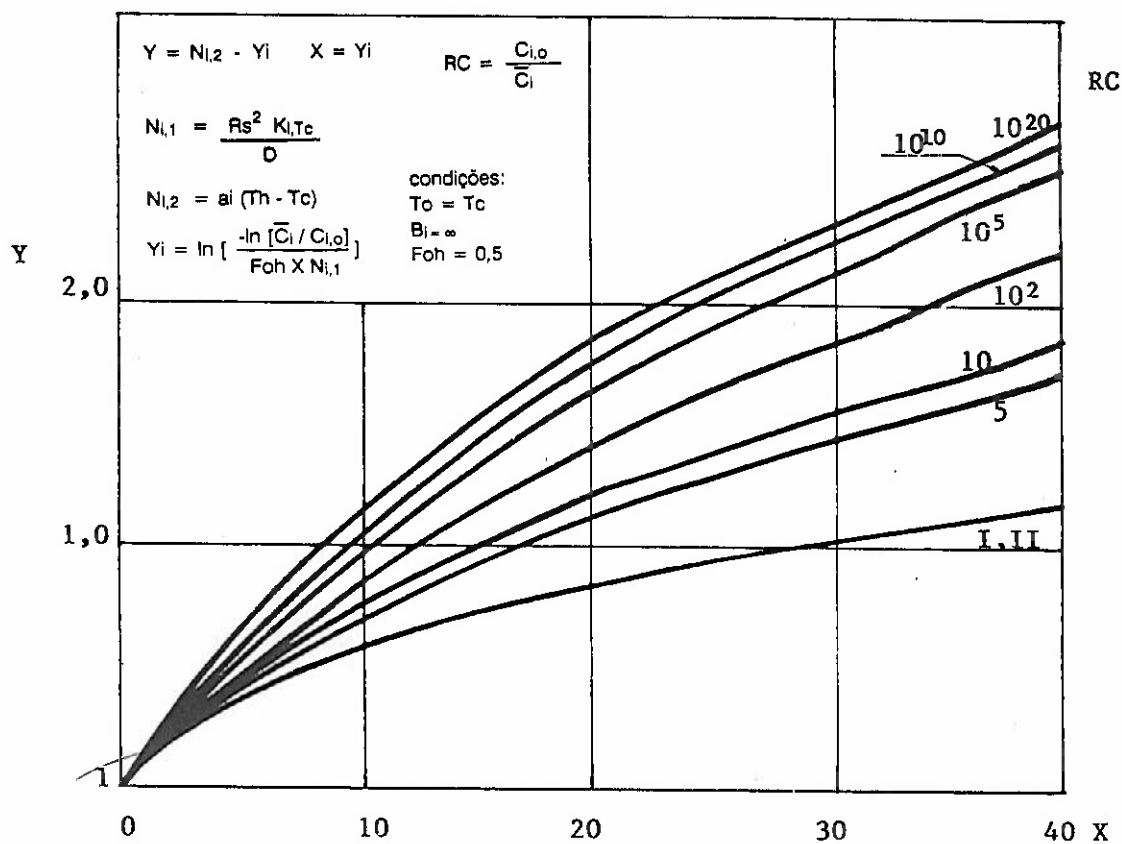
3.1 FLUXOGRAMA BÁSICO PARA CÁLCULO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE PROCESSO



3.2 FLUXOGRAMA PARA CÁLCULO DE RETENÇÃO DE NUTRIENTE



Retenção do nutriente



Equação 1:

$Y = b * X^a$, onde:

$$a = 0,5563 + 0,0786 * \log RC * \exp(-0,1817 * \log RC)$$

$$b = -0,1729 + 5,1428 * 10^{-3} * \log RC$$

coeficiente de determinação (r^2) = 0,9983

FIGURA 1. Relação numérica entre $N_{i,2}$ (adimensional de temperatura) e Y_i (adimensional do tempo) tendo como parâmetro a redução do componente termossensível (RC). $Bi = \infty$, $T_o = T_c$, $Foh = 0,5$ (THIJSSSEN *et al.*, 1978).

TABELA 1. Valores de Foh para $\beta \geq 0$ e para $Bi = \infty$, requerido para valores constantes de Ni_1, Ni_2 e $C_{i,0}/C_i$ (THIJSEN *et al.*, 1978).

β	Foh para $\beta \geq 0$
0	0,50
0,1	0,49 + 0,01 Fo*
0,2	0,47 + 0,02 Fo*
0,3	0,45 + 0,04 Fo*
0,4	0,43 + 0,06 Fo*
0,5	0,41 + 0,09 Fo*
0,6	0,38 + 0,12 Fo*
0,7	0,35 + 0,15 Fo*
0,8	0,29 + 0,20 Fo*
0,9	0,24 + 0,22 Fo*
1,0	Fo* - 0,06/Ni, 2

Equação 2:

Foh = a + b * Fo, onde:

$$a = (-0,2133 * \beta + 0,2620)^{1/2}$$

$$b = 10^{(1,4716 * \log \beta - 0,6004)}$$

coeficiente de determinação (r^2) = 0,9997

3.3 EQUAÇÕES DO FLUXOGRAMA

3.3.1 Parâmetros Cinéticos

$$K_i = K_{i,Tr} \exp [a_i (T - Tr)] \quad (1)$$

$$a_i = \frac{4,145}{Z_i} \quad (2)$$

$$D_i = \frac{2,303}{K_i} \quad (3)$$

3.3.2 Dimensão Característica

$$\frac{1}{Rs^2} = \frac{5,84}{d^2} \quad (\text{esfera}) \quad (4)$$

$$\frac{1}{Rs^2} = \frac{2,80}{d^2} + \frac{1,20}{l^2} \quad (\text{cilindro}) \quad (5)$$

$$\frac{1}{Rs^2} = \frac{1,20}{b^2} + \frac{1,20}{h^2} + \frac{1,20}{l^2} \quad (\text{retangular}) \quad (6)$$

3.3.3 Número de Biot, Fourier e Correção

$$Bi = \frac{\alpha Rs}{\lambda} \quad (7)$$

$$Foh = \frac{D' x th}{Rs^2} \quad (8)$$

$$Foh_{Bi < \infty} = \left[\frac{2}{Bi} + 1 \right] Foh_{Bi = \infty} \quad (9)$$

$$\ln \left[\frac{\bar{C}_i}{C_{i,0}} \right]_{Bi = \infty} = \left[\frac{1}{2/Bi + 1} \right] \ln \left[\frac{\bar{C}_i}{C_{i,0}} \right]_{Bi < \infty} \quad (10)$$

$$Fo^* = \frac{-\ln(\bar{C}_i / C_{i,0})}{N_{i,1} \exp N_{i,2}} \quad \text{para } \beta = 0, Foh = 0,5 \quad (11)$$

3.3.4 Correção da temperatura

$$\beta = \frac{T_o - T_c}{T_h - T_c} \quad (12)$$

3.3.5 Redução nutriente - primeira aproximação

$$Foh * N_{i,1} * \exp N_{i,2} = -\ln [C_i - C_{i,o}] \quad (13)$$

3.3.6 Correção no tempo ótimo (tempo de subida)

$$t_2 = t_h \quad (14)$$

$$t_h = 0,4t_1 + t_2 \quad (15)$$

4. NOMENCLATURA

ai	dependência de K_i com a temperatura	$^{\circ}K^{-1}$ ou -
Bi	número de Biot	-
b	largura	m
Ci	concentração do componente termosensível	kg^{-1} ou -
Ci,o	concentração a $t = 0$	kg^{-1}
D'	difusividade térmica do alimento na embalagem	m^2/s
Di	tempo de redução decimal	s
d	diâmetro	m
Fo*	tempo de aquecimento adimensional necessário para obter uma redução de $C_{i,o}/C_{i,Fo}$ para $N_{i,1}$ à temperatura constante	-
Foh	número de Fourier a t_h	-
h	altura	m
Ki	coeficiente da taxa de reação	s^{-1}
Ki,Tr	coeficiente da taxa de reação à temperatura T_r	s^{-1}
l	comprimento	m
Ni,1	grupo adimensional	-
Ni,2	grupo adimensional	-
Rs	raio característico	m
RC	taxa de redução do componente termosensível	-

t	tempo	s
th	tempo de aquecimento	s
Tc	temperatura média de resfriamento	°C
Th	temperatura média de aquecimento	°C
To	temperatura inicial do alimento	°C
Tr	temperatura de referência	°C
Yi	grupo adimensional	-
Zi	aumento de temperatura requerido para reduzir o valor de Di de um ciclo logarítmico	°F
α	coeficiente de transferência de calor	$\text{kJ/m}^2\text{°Ks}$
β	temperatura inicial adimensional	-
λ	condutividade térmica	kJ/moKs

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HAYAKAWA, K. New parameters for calculating mass average sterilizing value to estimate nutrients in thermally conductive food. *Canadian Institute of Food Technology Journal*, v.2, n.4, p.165-72, Ottawa, 1969.
- JEN, Y., MANSON, J.E., STUMBO, C.R., ZAHRADNIK, J.W. A procedure for estimating sterilization of and quality factor degradation in thermally processed foods. *Journal of Food Science*, v.36, p.692-8, Chicago, 1971.
- LUND, D.B. Design of thermal processes for maximizing nutrient retention. *Food Technology*, v.31, n.2, p.71, Chicago, 1977.
- NORBACK, J.P. Techniques for optimization of food processes. *Food Technology*, v.34, n.2, p.86-8, Chicago, 1980.
- OHLSSON, T. Optimal sterilization temperatures for sensory quality in cylindrical containers. *Journal of Food Science*, v.45, p.1517-21, Chicago, 1980.
- TEIXEIRA, A.A. **Thermal process optimization through computer simulation of variable boundary control and container geometry.** Amherst: University of Massachusetts, 1971. (PhD. Thesis - Doctorate).
- _____, ZINSMEISTER, G.E., ZAHRADNIK, J.W. Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thiamine retention in thermally processed foods. *Journal of Food Science*, v.40, n.4, p.656, Chicago, 1975.
- THIJSSSEN, H.A.C., KERKHOF, P.J.A.M., LIEFKENS, A.A.A. Short-cut method for the calculation of sterilization conditions yielding optimum quality retention for conduction-type heating of packaged foods. *Journal of Food Science*, v.43, p.1096-101, Chicago, 1978.
- _____, KOCHEN, L.H.P.J.M. Calculation of optimum sterilization conditions for packed conduction-type foods. *Journal of Food Science*, v.45, n.5, p.1267-72/1292, Chicago, 1980.



**USO DA INFORMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO
PROCESSAMENTO TÉRMICO**

Sílvia Pimentel Marconi GERMER

1. INTRODUÇÃO

Com o advento da informática, muitas tarefas vêm sendo simplificadas e realizadas em tempos incrivelmente curtos.

O microcomputador aumenta a produtividade, organiza operações, agiliza os serviços de escritórios e de fábricas, recebendo e produzindo informações para tomada de decisões.

Para a avaliação dos processos de esterilização térmica de alimentos muitos dados experimentais são gerados, seguidos de cálculos, interpolações e plotagem de curvas, envolvendo um trabalho tedioso e moroso.

O uso da informática, tanto para a aquisição dos dados, como para o seu manuseio, empregando planilhas eletrônicas e/ou rotinas de cálculo especialmente desenvolvidas, vem a otimizar o estudo, ganhando em tempo de execução e em precisão.

2. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE DADOS

Em um sistema de processamento de dados (SPD) existem três componentes principais: o "hardware", o "software" e o usuário.

O primeiro elemento do sistema é o "hardware", que são os componentes físicos, a máquina propriamente dita. Este é composto pelo sistema central e periféricos.

O sistema central, por sua vez, é constituído pela unidade central de processamento (UCP ou CPU), que é o "cérebro" do computador e pela memória principal (denominada RAM de "Random Access Memory").

O conjunto de periféricos, conhecido como unidade de entrada e saída (E/S), são as portas de comunicação entre o sistema central e o mundo exterior, complementando o "hardware". Este é formado por: memória auxiliar (disquetes, "winchesters", CD ROM), dispositivos de entrada (teclado, "mouse", "modem", sistemas de aquisição de dados), dispositivos de saída (vídeo, impressora, "plotter", sistemas de automação).

O "software" é o segundo componente do sistema de processamento de dados. Este confere "inteligência" à máquina, através de um conjunto de instruções para a CPU, coordenando detalhes internos e gerenciando a utilização do sistema. São vários os tipos de "software": os básicos formados pelos sistemas operacionais, linguagens, utilitários, linguagens de quarta geração (planilhas eletrônicas, processadores de texto); e os "softwares" aplicativos, constituídos por programas escritos com "softwares" básicos e que visam resolver determinado problema (contabilidade, folha de pagamento, cálculo de Fo de esterilização, etc).

O sistema de processamento de dados estará finalmente completo com o usuário, o terceiro componente.

Um equipamento de última geração, munido de "softwares" poderosos, forma uma "inteligência artificial", que somente será útil na presença de um usuário bem treinado e com objetivos bem definidos.

3. GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES EM UM SPD

A menor unidade de informação de um microcomputador é denominada bit ("Binary Digit"). O bit pode ser entendido como um "circuito" que pode armazenar os valores 0 (desligado) e 1 (ligado). É o componente básico da memória e representa um dígito binário, a única linguagem que o microprocessador entende.

Porém, como o bit representa somente dois estados, criou-se o byte, que é um conjunto de bits para representar os vários caracteres. O byte foi convencionado como um conjunto de 8 bits, o suficiente para representar as letras maiúsculas, minúsculas, números, acentuação, pontuação e outros caracteres especiais.

Existem vários padrões de caracteres, isto é, relações entre combinações de bits e caracteres, entre eles ASCII, BCD, EBCDIC. O padrão mais utilizado é o ASCII, recomendado pela ABNT.

Os microcomputadores atuais lêem simultaneamente 2 bytes (16 bits) ou 4 bytes (32 bits), o que provocou um considerável incremento na velocidade de processamento se comparado aos microprocessadores mais antigos de 0,5 byte (4 bits), que surgiram com a microcomputação.

Uma vez que os microprocessadores somente entendem a linguagem binária, também denominada digital, os periféricos (unidades de entrada e saída de dados) devem converter toda a informação para o sistema digital e transmiti-la, uma vez que são partes externas à CPU, ao sistema central.

A transmissão de bytes ocorre através de interfaces, que são o meio de comunicação entre as partes do sistema. O modo como os bits são transmitidos pode ser serial ou paralelo.

Uma tensão elétrica representa o valor digital, isto é, o bit, que como descrito pode ser 0 ou 1 e é transmitido por um fio elétrico.

No modo paralelo de transmissão, 8 bits (1 byte) são transmitidos ao mesmo tempo, portanto, o cabo paralelo é formado por 8 fios.

A grande vantagem deste modo de transmissão de dados é a rapidez.

Porém, desvantagens são observadas: cabos com muitos fios encarecem a interface e são mais sujeitos a interferências, não sendo aconselhados para o uso em distâncias superiores a 2 metros.

As interfaces seriais transmitem dados com apenas um par de fios, por onde passa um bit por vez, seqüencialmente. A transmissão serial é mais lenta, porém mais barata e sem as limitações do comprimento do cabo. O tipo mais utilizado é a interface 232C. A designação é um padrão, uma especificação técnica que descreve como as seqüências de bits são enviadas (voltagem, conector, etc.)

4. AQUISITOR DE DADOS

Um sistema eletrônico adicional é necessário ao microcomputador para que este funcione como um sistema de aquisição de dados, isto é, para que receba sinais de sensores e os armazene para futuros trabalhos.

Os sinais analógicos (voltagem, corrente elétrica) lidos em tempo real através de sensores devem ser convertidos em linguagem binária para que o microcomputador os processe. Esta operação é realizada por um conversor analógico-digital (CAD).

Um aquisitor de dados de um modo simplificado é um circuito eletrônico (placa) com entradas de sinais (canais), conversor analógico-digital (CAD) e interface para a comunicação com o microcomputador. As saídas de sinais são opcionais ao sistema de aquisição de dados e empregadas para controle (automação).

Os sensores (termopares, transdutores, células fotoelétricas, etc.) são "olhos" do sistema de aquisição de dados, codificando um evento físico e alimentando, com sinais analógicos, o CAD do aquisitor que, por sua vez alimenta o computador.

A placa para aquisição de dados pode ser montada diretamente no microcomputador, acoplada à placa-mãe da CPU (tipo "board") ou fora deste (tipo "box") e a comunicação sendo feita por meio de interface (paralela ou serial).

Uma das vantagens principais do sistema "box" é o fato de não estar sujeito às interferências internas da CPU ("ruído eletrônico"), não comprometendo, desta forma, a previsão dos resultados, além da facilidade de transporte e conexão a outros microcomputadores. A desvantagem observada nestes sistemas é uma maior possibilidade de interferências externas, embora este problema possa ser facilmente contornado com um aterramento.

O sistema "box", porém, tem uma velocidade menor de transmissão de resultados devido ao uso de interface.

O sistema de aquisição de dados tipo "board" supera o outro sistema em velocidade na transmissão de sinais, pois está ligado diretamente à CPU.

Para determinadas aplicações, porém, o sistema tipo "board" exige a presença de amplificadores para minimizar a perda de resolução devido às interferências do "ruído eletrônico" presentes na CPU.

O "ruído eletrônico" é uma voltagem indesejada que é adicionada ao sinal lido pelos sensores durante a transmissão, causando, desta forma, imprecisão.

As fontes de "ruído eletrônico" são várias: corrente elétrica (120/220V), motores, luzes fluorescentes, etc.

As placas-padrões de aquisição de dados têm 16 canais. Uma combinação de placas pode ser montada na necessidade de mais canais, tendo como número máximo 7 placas, isto é, 128 canais. Os canais, onde serão conectados os cabos dos sensores, são compostos pelos terminais positivo, negativo e terra (Figura 1).

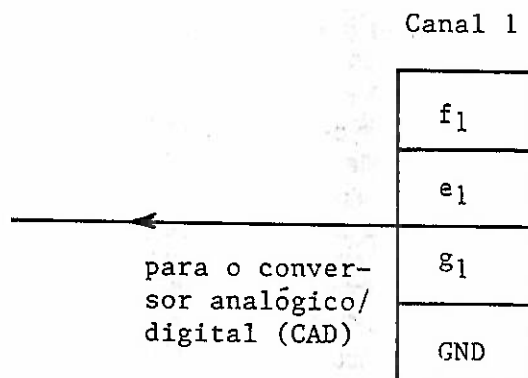


FIGURA 1. Esquema representativo de um canal de um aquisitor de dados: f₁ fonte de corrente; e₁ = terminal positivo; g₁ = terminal negativo; GND = terra.

Os termopares empregados para o levantamento de curvas de penetração de calor são, em geral, do tipo T (cobre-constantan) e geram voltagem em função da temperatura do meio onde são colocados. Os sinais medidos pelos termopares são baixos, inferiores a 50mV. Os termopares, quando conectados a canais de um sistema de aquisição de dados, devem ser blindados ("shieldeados") para evitar os efeitos do "ruído eletrônico" e ligados da seguinte forma: cabo positivo (cobre) ao terminal positivo, cabo negativo (constantan) ao terminal negativo e blindagem ao terminal terra (Figura 2).

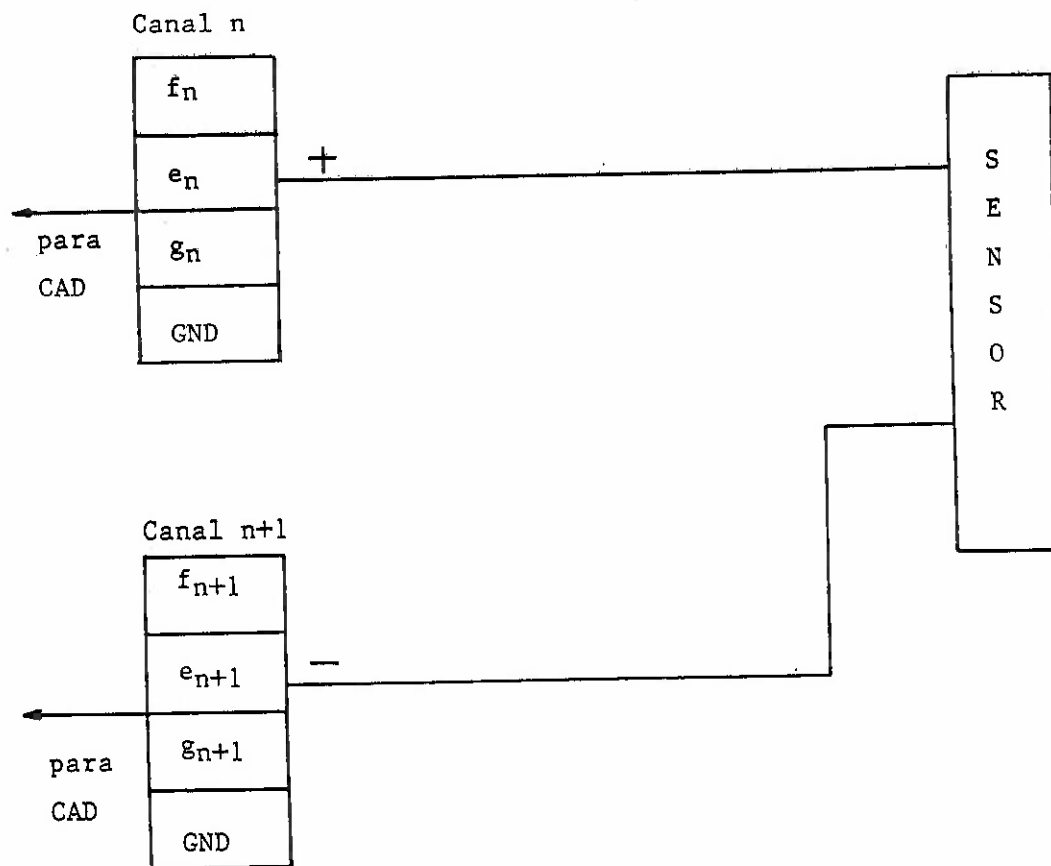


FIGURA 2. Esquema representativo da ligação dos cabos de um termopar a um canal de um aquisitor.

Um outro recurso para minimizar o efeito causado pelo "ruído eletrônico" é ligar os cabos dos sensores, no caso, o termopar, pelo modo diferencial aos terminais do aquisitor. Desta forma, o cabo positivo do sensor é ligado ao terminal positivo de um canal e o negativo ao terminal positivo do canal adjacente (Figura 3) e os efeitos de interferências são cancelados. O inconveniente deste recurso é que dois canais são usados para um único sinal, portanto, uma placa de 16 canais terá, no máximo, 8 sensores conectados desta forma. Alguns aquisidores de dados já apresentam os canais no modo diferencial. O modo diferencial de ligação de sensores ao aquisitor de dados é aconselhado em situações de muito "ruído eletrônico", longas distâncias e baixas voltagens de sinal.

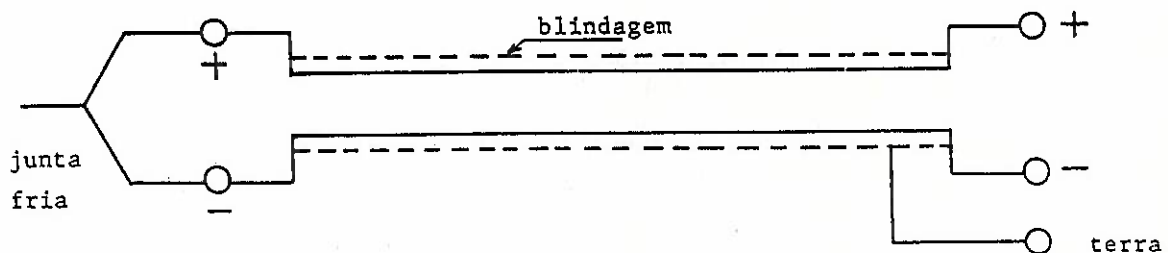


FIGURA 3. Esquema representativo da ligação dos cabos de um sensor aos terminais de canais de um aquisitor pelo modo diferencial.

Normalmente, os aquisitores de dados comerciais são acompanhados de softwares que são instalados no micro para leitura e manuseio dos dados (cálculos, gráficos, tabelamento, etc.).

Alguns softwares são bastantes simples, outros mais sofisticados, permitindo, inclusive, o uso do microcomputador para outras finalidades simultaneamente à aquisição de dados (softwares multitarefas). Deve-se tomar cuidado, porém, com o custo destes pacotes que muitas vezes superam o custo do próprio equipamento.

É possível desenvolver programas para a leitura dos dados com linguagens de programação, entre elas: Assembly, que é bastante rápida na leitura, porém, exigindo um conhecimento específico de hardware; Fortran, Pascal e C, que são denominadas linguagens de alto nível, mais fáceis de programar e ainda bastante rápidas; linguagens interpretadas como Basic que são suficientemente rápidas e fáceis.

Qualquer que seja a linguagem usada para desenvolver rotinas de leitura de dados de um aquisitor, estes podem como opção ser impressos em papel, ou apresentados no monitor de vídeo ou gravados em arquivos de discos de memória. Os dados armazenados em arquivos podem ser posteriormente trabalhados em planilhas eletrônicas (Lotus^R, Excel^R, Quatropro^R, etc.), pacotes estatísticos (SAS^R, Statgraphics^R etc.) e gráficos (Harvard graphics^R, Energraphic^R, Grapher, etc.).

Estes pacotes são denominados programas de quarta geração e têm a importante característica de realizar funções complexas (cálculos matemáticos, plotagem de gráficos, etc.), porém, de forma bastante interativa com o usuário, não exigindo profundos conhecimentos de programação.

5. USO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA O CÁLCULO DE F_0 DE ESTERILIZAÇÃO

Um dos tipos de programa que mais tem contribuído para divulgar o uso dos microcomputadores é a planilha eletrônica.

Existem muitos problemas ou tarefas que normalmente são resolvidos com a utilização de quatro ferramentas universais: papel, lápis, borracha e calculadora. A planilha combina a conveniência e a facilidade do uso de uma calculadora com a capacidade de armazenar (memória) e mostrar (tela) eletronicamente dados em um microcomputador.

Com o uso do microcomputador, as ferramentas tradicionais utilizadas para cálculos são substituídas por novas mais eficientes e mais rápidas: a tela e a memória substituem o papel; o teclado e o mouse substituem o lápis; e o microprocessador substitui a calculadora.

As planilhas, assim como os processadores de texto e gerenciadores de arquivos, são denominadas "software" de quarta geração. São linguagens de altíssimo nível, bastante mais próximas das aplicações e do usuário (programas "amigáveis"), apesar da complexidade interna.

A planilha eletrônica vem sendo bastante utilizada para planejamentos, previsões, manipulação numérica em geral.

Muitas são as planilhas eletrônicas comerciais: entre elas Lotus 1-2-3^R, Excel^R, Quatro Pro^R, etc. O Lotus 1-2-3^R (Lotus Development Corporation) foi, por muito tempo, a mais popular planilha eletrônica e, atualmente, vem perdendo espaço para as outras com estruturas mais modernas como o Excel^R (Microsoft).

O emprego de uma planilha eletrônica para a avaliação dos processos térmicos, tanto para a plotagem de curvas de penetração de calor, como para o cálculo do F_0 de esterilização facilita enormemente o trabalho. Os cálculos podem ser realizados no modo automático, através da programação das operações desenvolvendo uma macro, ou não.

Muitos dados experimentais (temperatura versus tempo) e uma seqüência bem definida de operações são envolvidos nos cálculos de F_0 . A simplicidade do uso e a possibilidade de visualização através dos recursos gráficos, do recálculo para infinitos parâmetros cinéticos de microrganismos (D e z), além da facilidade de recuperação de arquivos de dados obtidos por aquisitores são umas das mais importantes vantagens do uso de planilhas eletrônicas para esta finalidade.

O exemplo 1 ilustra uma seqüência de operações para o cálculo do F_0 de esterilização pelo método genérico através do Lotus e o exemplo 2 ilustra para o Excel^R.

5.1 EXEMPLO 1: CÁLCULO DE F_0 PELO MÉTODO GENÉRICO USANDO O LOTUS 1-2-3^R

Este exemplo objetiva descrever um algoritmo de cálculo de F_0 (método genérico), a partir de valores de tempo e temperatura obtidos indiretamente, isto é, sem o auxílio de um aquisitor de dados; portanto, os dados devem ser digitados na planilha.

O exemplo escolhido é válido para uma situação onde os intervalos de tempo são irregulares e superiores a 5 minutos, daí a necessidade de determinar a temperatura média do intervalo. Caso os intervalos de tempo lidos sejam regulares e inferiores a 5 minutos este algoritmo pode ser simplificado.

Para facilidade de entendimento será empregada, no algoritmo, a seguinte nomenclatura:

- a) Números ou letras em negrito devem ser digitados como estão
Ex: **123**
- b) Comandos entre colchetes são teclas do teclado
Ex: [enter]
- c) Quando se diz "posicione o cursor" isto pode ser feito com as teclas [↓] [↑] [→] [←] ou com mouse.

5.1.1 Algoritmo de cálculo de F_0 no Lotus

- 1) Digite **123** [enter].
- 2) Mude o cursor para a célula A4 e digite: **TEMPO**.
- 3) Posicione o cursor na célula B4 e digite: **TPT**.
- 4) Faça o mesmo para C4 (**DT**), D4 (**TM**), E4 (**TL**) e F4 (**TLDT**).
- 5) Posicione o cursor em A5 e digite o tempo inicial (que deve ser igual a 0). Continue na mesma coluna, isto é, em A1, A2, ... até An, digitando os tempos lidos da curva de penetração de calor.
Obs.: Coloque o tempo em minutos.
- 6) Posicione o cursor em B5 e digite a temperatura inicial (em °C). Continue digitando as temperaturas correspondentes aos tempos da coluna A na coluna B até Bn.
- 7) Posicione o cursor na célula C6.

Você irá calcular agora o primeiro intervalo de tempo e, em seguida, copiar a fórmula para a coluna inteira.

- Digite: + A6 - A5 [enter]
- Com o cursor em C6 tecla
/C [enter] [↓] • [↓]... até Cn [enter]

8) Posicione o cursor em D6.

Você irá agora determinar a temperatura média do primeiro intervalo de tempo e repetir a fórmula para a coluna toda:

- Digite: + (B5 + B6)/2 [enter]
- Com o cursor em D6 tecla:
/C [enter] [↓] • [↓]... até Dn [enter]

9) Posicione o cursor em E6.

Você irá calcular agora a taxa letal correspondente à temperatura média do primeiro intervalo de tempo e copiar a fórmula para o restante da coluna.

- Digite: + 10 ^ ((D6 - 121.1)/10) [enter]
- Com o cursor em E6 tecla:
/C [enter] [↓] • [↓]... até En [enter]

10) Posicione o cursor em F6

Você irá agora calcular o produto de TL (taxa letal) por DT (intervalo de tempo).

- Digite: + E6 * C6 [enter]
- Com o cursor em F6 tecla:
/C [enter] [↓] • [↓]... até Fn [enter]

11) Com o cursor em Fn + 2 digite:
@ SUM (F6.. FN) [enter]

12) O valor que aparecer na célula Fn + 2 é o Fo de esterilização.

5.1.2 Algoritmo de cálculo de Fo no Excel^R

5.1.2.A) Importação de arquivos e preparo da planilha

- 1) Do menu Arquivo, escolha a opção Abrir.
- 2) Na caixa de opção de tipos de arquivo, selecione "Text files (*.pm,*.txt,*.csv)", para arquivos tipo texto, ou "All files (*.*)" se o seu arquivo tiver outra extensão.
- 3) Abra o arquivo. Será rodado o "Text Import Wizard". No passo 1, observe a opção "Start import at row:" e escolha a linha onde se iniciam os dados. Clique em "Next". No passo 2, em "Delimiters", escolha qual é o tipo de delimitador dos dados (vírgula, espaço, etc.). Geralmente usa-se vírgula (comma). Clique em "Next". No passo 3, certifique-se que a opção "General" de "Column Data Format" esteja selecionada e clique em "Finish".

4) Se a primeira linha a ser importada foi de dados, o primeiro dado de tempo se encontra em A1 e o dado de temperatura correspondente se encontra em B1. Selecione A1. Do menu "Insert" (inserir), escolha "Row" (linha), de modo que os dados se iniciem em A5.

5) Se os dados forem digitados diretamente na planilha e não importados digite os dados de tempo a partir de A5 e os dados de temperatura a partir de B5.

5.1.2.B) Cálculo

- 1) Selecione a célula A4 e digite TEMPO.
- 2) Selecione a célula B4 e digite TEMPERATURA.
- 3) Faça o mesmo para C4 (DT), D4 (TM), E4 (TL) e F4 (TLDT).
- 4) Selecione a célula C6. Você irá calcular agora o primeiro intervalo de tempo e, em seguida, copiar a fórmula para a coluna inteira. Digite: $=A6-A5$ [enter]. Com a célula C6 selecionada selecione "Copy" (copiar) do menu "Edit" (editar). Selecione o resto da coluna (C7..CN) e escolha "Paste" (colar) do menu "Edit".
- 5) Selecione a célula D6. Você irá agora determinar a temperatura média do primeiro intervalo de tempo e repetir a fórmula para a coluna toda.
 Digite: $=(B5+B6)/2$ [enter].
 Selecione a célula D6 e conforme descrito acima copie a fórmula para o resto da coluna (D7..DN).
- 6) Posicione o cursor em E6. Você irá calcular agora a taxa correspondente à temperatura média do primeiro intervalo de tempo e copiar a fórmula para o resto da coluna.
 Digite: $=10^{((D6 - 121.1)/10)}$ [enter].
 Selecione a célula E6 e copie a fórmula para o resto da coluna (E7..EN).
- 7) Posicione o cursor em F6. Você irá calcular agora o produto de TL (taxa letal) por DT (intervalo de tempo).
 Digite: $=E6*C6$ [enter].
 Selecione F6 e copie a fórmula para o resto da coluna (F7..FN).
- 8) Selecione a célula F(N+2). Digite $=SUM(F6:FN)$ [enter].
- 9) O valor que surgir na célula F(N+2) é o Fo de esterilização.

Observações:

1. O algoritmo acima foi feito considerando-se apenas o cálculo para uma coluna de temperaturas. Se forem utilizadas mais colunas, deverá haver entre cada uma delas o espaço correspondente às colunas DT, TM, TL e TLDT. Uma segunda coluna de dados temperaturas seria, no caso, a coluna G e as fórmulas acima para o cálculo de Fo da segunda coluna teriam que ser adaptadas de acordo com as posições relativas das novas colunas DT, TM, TL e TLDT.
2. Todos os comandos e funções usados correspondem à versão em inglês do Excel^R 5.0. Para as versões em português deve-se tomar cuidado na definição de separadores de dados e de decimais. Nestas versões, os decimais de um número são separados dos inteiros por vírgula, portanto, quando nos arquivos de dados (que em geral estão no padrão inglês) existirem vírgulas como separadores, os números são importados truncados. Deve-se configurar o programa (Excel^R e Windows) de acordo com os dados dos arquivos a ser importados.

6. DESENVOLVIMENTO DE UMA ROTINA PARA CÁLCULO DE F_0 EM LINGUAGEM DE ALTO NÍVEL

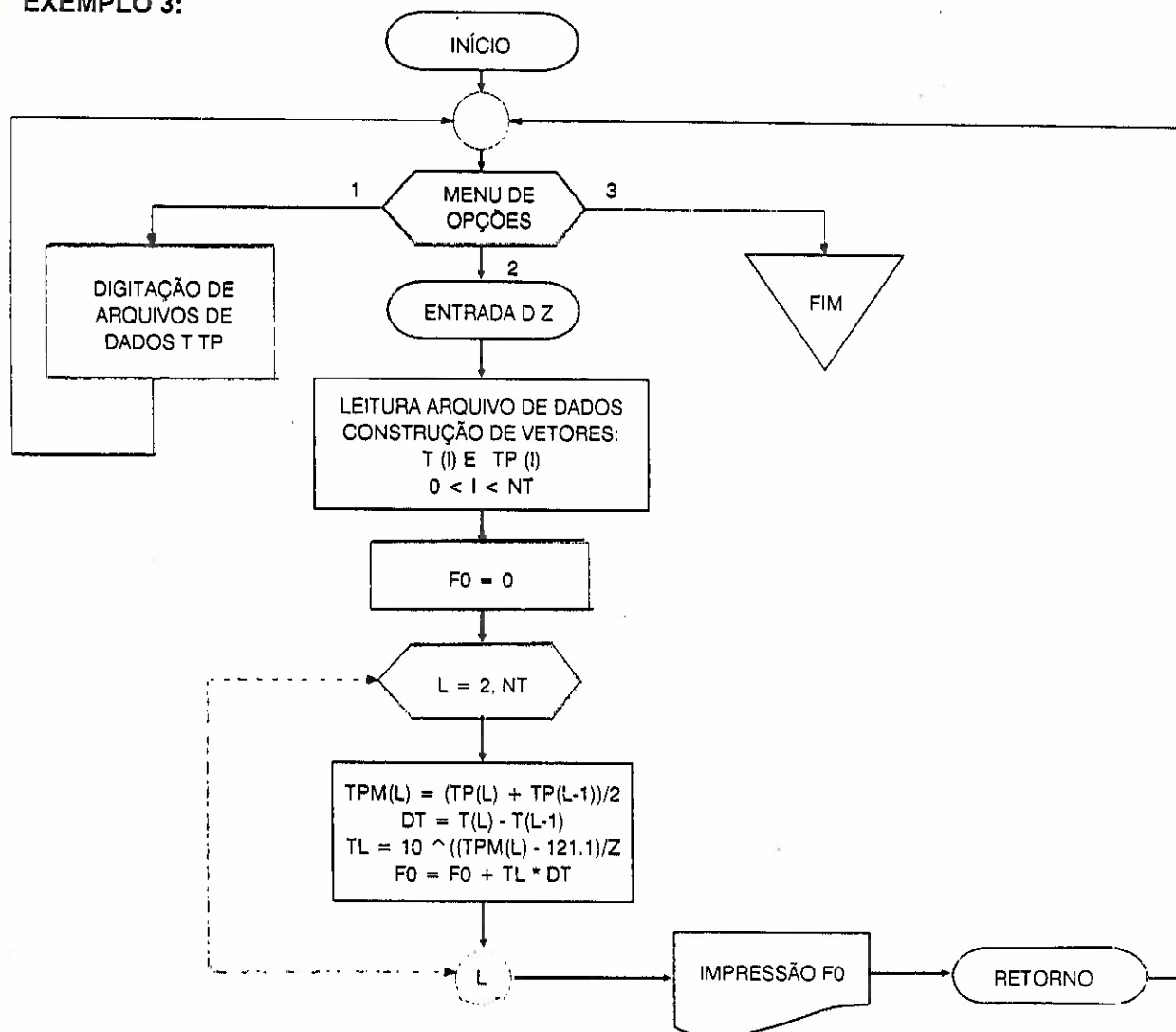
O desenvolvimento de uma rotina para cálculo de F_0 agiliza o estudo, porém, exige conhecimentos em programação e em alguma linguagem.

Muitas linguagens podem ser empregadas: C, Fortran, Pascal, Basic, etc.

Como foi dito anteriormente, as linguagens interpretativas (Basic, Quick-basic), isto é, interpretadas e compiladas passo a passo, são mais indicadas para programadores com pouca experiência, por apresentarem os erros durante o desenvolvimento da rotina.

O exemplo 3 apresenta um diagrama de blocos de um algoritmo simplificado para o cálculo de F_0 pelo método genérico, que pode ser desenvolvido em qualquer linguagem.

EXEMPLO 3:



NOMENCLATURA:

D = D do microrganismo; T(L) = vetor tempo; TP(L) = vetor temperatura; TPM(L) = vetor temperatura média; Z = z do microrganismo; NT = número total pares T e TP; DT = intervalo de tempo; TL = taxa letal; T = tempo; TP = temperatura

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

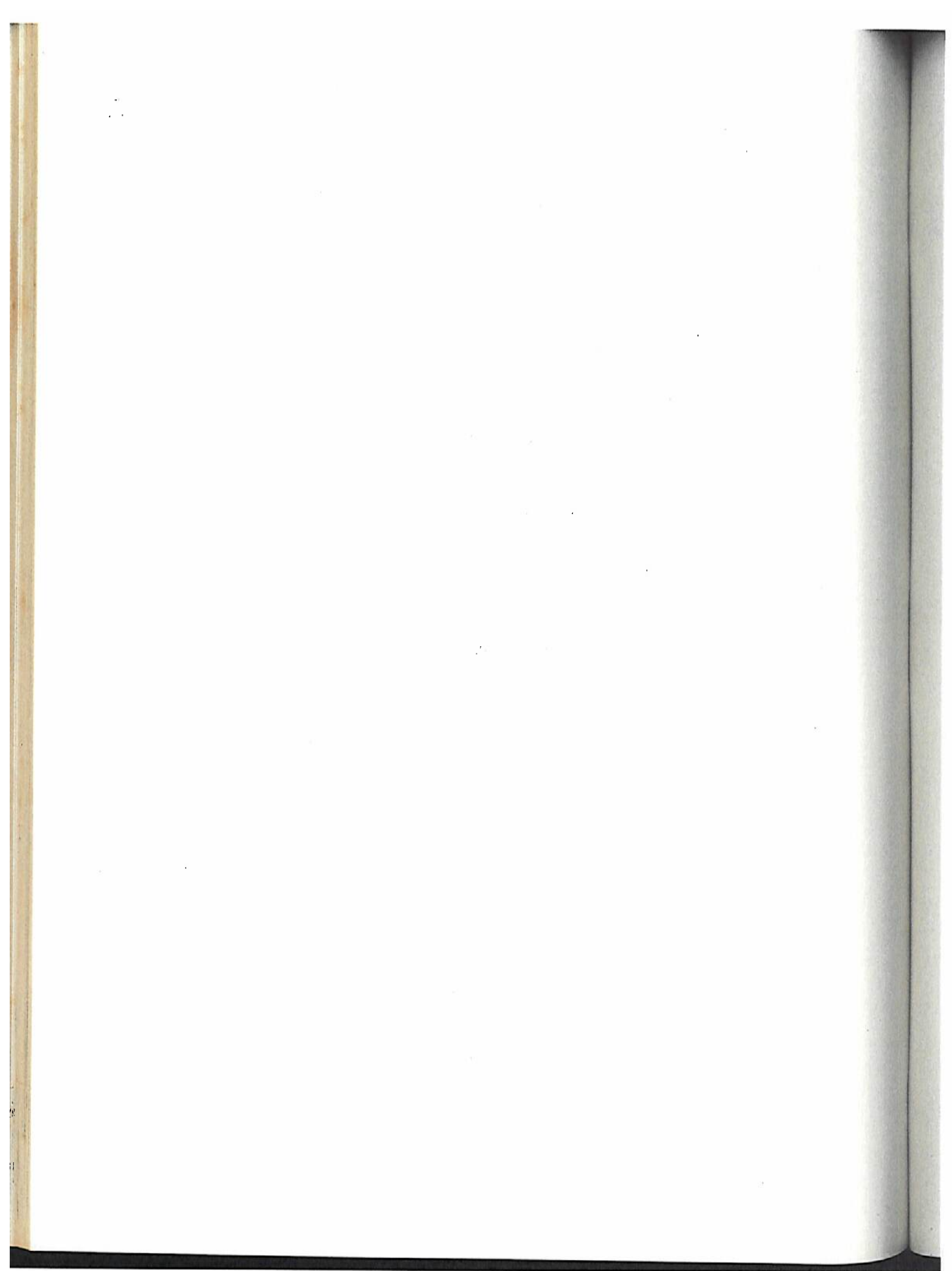
DIANACHART - PC Aquisitor Operating Manual. NJ Dianachart, 1991. 106p.

LEBLOND, G.T., COBB, D.F. Usando 1-2-3/versão 2. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1988. 427p.

LUNSFORD, E.M. LOTUS^R macros menus e milagres. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1991. 449p.

MICROSOFT Excel - User's guide. v.5.0, 1994. 786p.

APÊNDICES



APÊNDICE I*

TAXAS LETAIS EM FUNÇÃO DO COEFICIENTE DE TEMPERATURA, TEMPERATURA DE REFERÊNCIA E TEMPERATURA DE PROCESSAMENTO

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
z = 8°C (14,4°F)

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{8}$ 10
111,0	0,05
112,0	0,07
113,0	0,10
114,0	0,13
115,0	0,17
116,0	0,23
117,0	0,30
118,0	0,41
119,0	0,55
120,0	0,73
121,0	0,97
121,5	1,12
122,0	1,29
122,5	1,50
123,0	1,73
123,5	1,99
124,0	2,30
124,5	2,66
125,0	3,07
125,5	3,55
126,0	4,10
126,5	4,73
127,0	5,46
127,5	6,31
128,0	7,29
128,5	8,41
129,0	9,71
129,5	11,22
130,0	12,96
130,5	14,96
131,0	17,28
131,5	19,95
132,0	23,04
132,5	26,61
133,0	30,72
133,5	35,48

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{8}$ 10
134,0	40,97
134,5	47,31
135,0	54,64
135,5	63,10
136,0	72,86
136,5	84,14
137,0	97,16
137,5	112,20
138,0	129,57
138,5	149,62
139,0	172,78
139,5	199,53
140,0	230,41
140,5	266,07
141,0	307,25
141,5	354,81
142,0	409,73
142,5	473,15
143,0	546,37
143,5	630,96
144,0	728,62
144,5	841,39
145,0	971,63
145,5	1122,01
146,0	1295,68
146,5	1496,23
147,0	1727,82
147,5	1995,26
148,0	2304,09
148,5	2660,72
149,0	3072,55
149,5	3548,13
150,0	4097,32

* QUAST, D.G. Instruções Técnicas do ITAL n° 10, 1976.

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
 z = 10°C (18°F)

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{10}$
111,0	0,10
112,0	0,12
113,0	0,15
114,0	0,19
115,0	0,24
116,0	0,31
117,0	0,39
118,0	0,49
119,0	0,62
120,0	0,78
121,0	0,98
121,5	1,10
122,0	1,23
122,5	1,38
123,0	1,55
123,5	1,74
124,0	1,95
124,5	2,19
125,0	2,45
125,5	2,75
126,0	3,09
126,5	3,47
127,0	3,89
127,5	3,37
128,0	4,90
128,5	5,50
129,0	6,17
129,5	6,92
130,0	7,76
130,5	8,71
131,0	9,77
131,5	10,96
132,0	12,30
132,5	13,80
133,0	15,49
133,5	17,38

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{10}$
134,0	19,50
134,5	21,88
135,0	24,55
135,5	27,54
136,0	30,90
136,5	34,67
137,0	38,90
137,5	43,65
138,0	48,98
138,5	54,95
139,0	61,66
139,5	69,18
140,0	77,62
140,5	87,10
141,0	97,72
141,5	109,65
142,0	123,03
142,5	138,04
143,0	154,88
143,5	173,78
144,0	194,98
144,5	218,78
145,0	245,47
145,5	275,42
146,0	309,03
146,5	346,74
147,0	389,04
147,5	436,52
148,0	489,78
148,5	549,54
149,0	616,59
149,5	691,83
150,0	776,25

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
z = 12°C (21,6°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	12
109,0	0,10	
110,0	0,12	
111,0	0,14	
112,0	0,17	
113,0	0,21	
114,0	0,26	
115,0	0,31	
116,0	0,38	
117,0	0,46	
118,0	0,55	
119,0	0,67	
120,0	0,81	
121,0	0,99	
121,5	1,08	
122,0	1,19	
122,5	1,31	
123,0	1,44	
123,5	1,59	
124,0	1,75	
124,5	1,92	
125,0	2,11	
125,5	2,33	
126,0	2,56	
126,5	2,82	
127,0	3,10	
127,5	3,42	
128,0	3,76	
128,5	4,14	
129,0	4,55	
129,5	5,01	
130,0	5,52	
130,5	6,07	
131,0	6,68	
131,5	7,36	
132,0	8,10	
132,5	8,91	
133,0	9,81	
133,5	10,80	
134,0	11,89	
134,5	13,08	

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	12
135,0	14,40	
135,5	15,85	
136,0	17,45	
136,5	19,20	
137,0	21,14	
137,5	23,26	
138,0	25,61	
138,5	28,18	
139,0	31,02	
139,5	34,15	
140,0	37,58	
140,5	41,37	
141,0	45,53	
141,5	50,12	
142,0	55,17	
142,5	60,72	
143,0	66,83	
143,5	73,56	
144,0	80,97	
144,5	89,13	
145,0	98,10	
145,5	107,98	
146,0	118,85	
146,5	130,82	
147,0	143,99	
147,5	158,49	
148,0	174,45	
148,5	192,01	
149,0	211,35	
149,5	232,66	
150,0	256,06	

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
z = 14°C (25,2°F)

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{10}^{14}$
107,0	0,10
108,0	0,12
109,0	0,14
110,0	0,16
111,0	0,19
112,0	0,22
113,0	0,26
114,0	0,31
115,0	0,37
116,0	0,43
117,0	0,51
118,0	0,60
119,0	0,71
120,0	0,84
121,0	0,98
121,5	1,07
122,0	1,16
122,5	1,26
123,0	1,37
123,5	1,48
124,0	1,61
124,5	1,75
125,0	1,90
125,5	2,06
126,0	2,24
126,5	2,43
127,0	2,64
127,5	2,87
128,0	3,11
128,5	3,38
129,0	3,67
129,5	3,98
130,0	4,32
130,5	4,69
131,0	5,10
131,5	5,53
132,0	6,00
132,5	6,52

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{10}^{14}$
133,0	7,08
133,5	7,69
134,0	8,35
134,5	9,06
135,0	9,84
135,5	10,68
136,0	11,60
136,5	12,59
137,0	13,67
137,5	14,84
138,0	16,11
138,5	17,49
139,0	18,99
139,5	20,62
140,0	22,39
140,5	24,31
141,0	26,39
141,5	28,65
142,0	31,11
142,5	33,77
143,0	36,67
143,5	39,81
144,0	43,22
144,5	46,93
145,0	50,95
145,5	55,32
146,0	60,06
146,5	65,21
147,0	70,80
147,5	76,86
148,0	83,45
148,5	90,60
149,0	98,37
149,5	106,80
150,0	115,95

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
z = 16°C (28,8°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	16
105,0	0,10	
106,0	0,11	
107,0	0,13	
108,0	0,15	
109,0	0,18	
110,0	0,20	
111,0	0,23	
112,0	0,27	
113,0	0,31	
114,0	0,36	
115,0	0,42	
116,0	0,48	
117,0	0,55	
118,0	0,64	
119,0	0,74	
120,0	0,85	
121,0	0,99	
121,5	1,06	
122,0	1,14	
122,5	1,22	
123,0	1,31	
123,5	1,41	
124,0	1,52	
124,5	1,63	
125,0	1,75	
125,5	1,88	
126,0	2,02	
126,5	2,18	
127,0	2,34	
127,5	2,51	
128,0	2,70	
128,5	2,90	
129,0	3,12	
129,5	3,35	
130,0	3,60	
130,5	3,87	
131,0	4,16	
131,5	4,47	

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	16
132,0	4,80	
132,5	5,16	
133,0	5,54	
133,5	5,96	
134,0	6,40	
134,5	6,88	
135,0	7,39	
135,5	7,94	
136,0	8,54	
136,5	9,17	
137,0	9,85	
137,5	10,59	
138,0	11,38	
138,5	12,23	
139,0	13,15	
139,5	14,13	
140,0	15,18	
140,5	16,31	
141,0	17,53	
141,5	18,84	
142,0	20,24	
142,5	21,75	
143,0	23,38	
143,5	25,12	
144,0	26,99	
144,5	29,01	
145,0	31,17	
145,5	33,50	
146,0	36,00	
146,5	38,68	
147,0	41,57	
147,5	44,67	
148,0	48,00	
148,5	51,58	
149,0	55,43	
149,5	59,57	
150,0	64,01	

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
 z = 18°C (32,4°F)

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 121,1}{10^{18}}$
103,0	0,10
104,0	0,11
105,0	0,13
106,0	0,15
107,0	0,17
108,0	0,19
109,0	0,21
110,0	0,24
111,0	0,28
112,0	0,31
113,0	0,36
114,0	0,40
115,0	0,46
116,0	0,52
117,0	0,59
118,0	0,67
119,0	0,76
120,0	0,87
121,0	0,99
121,5	1,05
122,0	1,12
122,5	1,20
123,0	1,28
123,5	1,36
124,0	1,45
124,5	1,55
125,0	1,65
125,5	1,76
126,0	1,87
126,5	2,00
127,0	2,13
127,5	2,27
128,0	2,42
128,5	2,58
129,0	2,75
129,5	2,93
130,0	3,12
130,5	3,33
131,0	3,55
131,5	3,78

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 121,1}{10^{18}}$
132,0	4,03
132,5	4,30
133,0	4,58
133,5	4,89
134,0	5,21
134,5	5,55
135,0	5,92
135,5	6,31
136,0	6,73
136,5	7,17
137,0	7,64
137,5	8,15
138,0	8,69
138,5	9,26
139,0	9,87
139,5	10,53
140,0	11,22
140,5	11,96
141,0	12,75
141,5	13,59
142,0	14,49
142,5	15,45
143,0	16,47
143,5	17,56
144,0	18,72
144,5	19,95
145,0	21,27
145,5	22,68
146,0	24,17
146,5	25,77
147,0	27,47
147,5	29,29
148,0	31,22
148,5	33,28
149,0	35,48
149,5	37,83
150,0	40,32

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
 $z = 20^{\circ}\text{C}$ (36,0°F)

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{10}$ 20
101,0	0,10
102,0	0,11
103,0	0,12
104,0	0,14
105,0	0,16
106,0	0,18
107,0	0,20
108,0	0,22
109,0	0,25
110,0	0,28
111,0	0,31
112,0	0,35
113,0	0,39
114,0	0,44
115,0	0,50
116,0	0,56
117,0	0,62
118,0	0,70
119,0	0,79
120,0	0,88
121,0	0,99
121,5	1,05
122,0	1,11
122,5	1,18
123,0	1,25
123,5	1,32
124,0	1,40
124,5	1,48
125,0	1,57
125,5	1,66
126,0	1,76
126,5	1,86
127,0	1,97
127,5	2,09
128,0	2,21
128,5	2,34
129,0	2,48
129,5	2,63
130,0	2,79
130,5	2,95

Temperatura °C	Taxa letal
	$\frac{T - 121,1}{10}$ 20
131,0	3,13
131,5	3,31
132,0	3,51
132,5	3,72
133,0	3,94
133,5	4,17
134,0	4,42
134,5	4,68
135,0	4,96
135,5	5,25
136,0	5,56
136,5	5,89
137,0	6,24
137,5	6,61
138,0	7,00
138,5	7,41
139,0	7,85
139,5	8,32
140,0	8,81
140,5	9,33
141,0	9,89
141,5	10,47
142,0	11,09
142,5	11,75
143,0	12,45
143,5	13,18
144,0	13,96
144,5	14,79
145,0	15,67
145,5	16,60
146,0	17,58
146,5	18,62
147,0	19,72
147,5	20,89
148,0	22,13
148,5	23,44
149,0	24,83
149,5	26,30
150,0	27,86

Temperatura de referência = 121,1°C (250°F)
z = 22°C (39,6°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	22
99,0	0,10	
100,0	0,11	
101,0	0,12	
102,0	0,14	
103,0	0,15	
104,0	0,17	
105,0	0,19	
106,0	0,21	
107,0	0,23	
108,0	0,25	
109,0	0,28	
110,0	0,31	
111,0	0,35	
112,0	0,36	
113,0	0,43	
114,0	0,48	
115,0	0,53	
116,0	0,59	
117,0	0,65	
118,0	0,72	
119,0	0,80	
120,0	0,89	
121,0	1,00	
121,5	1,04	
122,0	1,10	
122,5	1,16	
123,0	1,22	
123,5	1,29	
124,0	1,36	
124,5	1,43	
125,0	1,50	
125,5	1,59	
126,0	1,67	
126,5	1,76	
127,0	1,85	
127,5	1,95	
128,0	2,06	
128,5	2,19	

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	22
129,0	2,29	
129,5	2,41	
130,0	2,54	
130,5	2,68	
131,0	2,82	
131,5	2,97	
132,0	3,13	
132,5	3,30	
133,0	3,48	
133,5	3,66	
134,0	3,86	
134,5	4,07	
135,0	4,28	
135,5	4,51	
136,0	4,76	
136,5	5,01	
137,0	5,28	
137,5	5,57	
138,0	5,86	
138,5	6,18	
139,0	6,51	
139,5	6,86	
140,0	7,23	
140,5	7,62	
141,0	8,03	
141,5	8,46	
142,0	8,91	
142,5	9,39	
143,0	9,90	
143,5	10,43	
144,0	10,99	
144,5	11,58	
145,0	12,20	
145,5	12,86	
146,0	13,55	
146,5	14,27	
147,0	15,04	
147,5	15,85	

Temperatura °C	Taxa letal T - 121,1	
	10	22
148,0	16,70	
148,5	17,60	
149,0	18,54	
149,5	19,54	
150,0	20,59	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 10°C (18,0°F)

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10}$	
	10	10
90,0	0,10	
91,0	0,13	
92,0	0,16	
93,0	0,20	
94,0	0,25	
95,0	0,32	
96,0	0,40	
97,0	0,50	
98,0	0,63	
99,0	0,79	
100,0	1,00	
100,5	1,12	
101,0	1,26	
101,5	1,41	
102,0	1,58	
102,5	1,78	
103,0	2,00	
103,5	2,24	
104,0	2,51	
104,5	2,82	
105,0	3,16	
105,5	3,55	
106,0	3,98	
106,5	4,47	
107,0	5,01	
107,5	5,62	
108,0	6,31	
108,5	7,08	
109,0	7,94	
109,5	8,91	
110,0	10,00	
110,5	11,22	
111,0	12,59	
111,5	14,13	
112,0	15,85	
112,5	17,78	
113,0	19,95	
113,5	22,39	
114,0	25,12	
114,5	28,18	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10}$	
	10	10
115,0	31,62	
115,5	35,48	
116,0	39,81	
116,5	44,67	
117,0	50,12	
117,5	56,23	
118,0	63,10	
118,5	70,79	
119,0	79,43	
119,5	89,13	
120,0	100,00	
120,5	112,20	
121,0	125,89	
121,5	141,25	
122,0	158,49	
122,5	177,83	
123,0	199,53	
123,5	223,87	
124,0	251,19	
124,5	281,84	
125,0	316,23	
125,5	354,81	
126,0	398,11	
126,5	446,68	
127,0	501,19	
127,5	562,34	
128,0	630,96	
128,5	707,95	
129,0	794,33	
129,5	891,25	
130,0	1000,00	
130,5	1122,02	
131,0	1258,93	
131,5	1412,54	
132,0	1584,89	
132,5	1778,28	
133,0	1995,26	
133,5	2238,72	
134,0	2511,89	
134,5	2818,38	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10}$	
	10	10
135,0	3162,28	
135,5	3548,13	
136,0	3981,07	
136,5	4466,83	
137,0	5011,87	
137,5	5623,41	
138,0	6309,57	
138,5	7079,46	
139,0	7943,28	
139,5	8912,51	
140,0	10000,00	
140,5	11220,18	
141,0	12589,25	
141,5	14125,38	
142,0	15848,93	
142,5	17782,79	
143,0	19952,62	
143,5	22387,21	
144,0	25118,86	
144,5	28183,83	
145,0	31622,78	
145,5	35481,34	
146,0	39810,72	
146,5	44668,36	
147,0	50118,72	
147,5	56234,13	
148,0	63095,73	
148,5	70794,58	
149,0	79432,82	
149,5	89125,09	
150,0	100000,00	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 12°C (21,6°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	12
88,0	0,10	
89,0	0,12	
90,0	0,15	
91,0	0,18	
92,0	0,22	
93,0	0,26	
94,0	0,32	
95,0	0,38	
96,0	0,46	
97,0	0,56	
98,0	0,68	
99,0	0,83	
100,0	1,00	
100,5	1,10	
101,0	1,21	
101,5	1,33	
102,0	1,47	
102,5	1,62	
103,0	1,78	
103,5	1,96	
104,0	2,15	
104,5	2,37	
105,0	2,61	
105,5	2,87	
106,0	3,16	
106,5	3,48	
107,0	3,81	
107,5	4,22	
108,0	4,64	
108,5	5,11	
109,0	5,62	
109,5	6,19	
110,0	6,81	
110,5	7,50	
111,0	8,25	
111,5	9,09	
112,0	10,00	
112,5	11,01	
113,0	12,12	
113,5	13,34	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	12
114,0	14,68	
114,5	16,16	
115,0	17,78	
115,5	19,57	
116,0	21,54	
116,5	23,71	
117,0	26,10	
117,5	28,73	
118,0	31,62	
118,5	34,81	
119,0	38,31	
119,5	42,17	
120,0	46,42	
120,5	51,09	
121,0	56,23	
121,5	61,90	
122,0	68,13	
122,5	74,99	
123,0	82,54	
123,5	90,85	
124,0	100,00	
124,5	110,07	
125,0	121,15	
125,5	133,35	
126,0	146,78	
126,5	161,56	
127,0	177,83	
127,5	195,73	
128,0	215,44	
128,5	237,14	
129,0	261,02	
129,5	287,10	
130,0	316,23	
130,5	348,07	
131,0	383,12	
131,5	421,70	
132,0	464,16	
132,5	510,90	
133,0	562,34	
133,5	618,97	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	12
134,0	681,29	
134,5	749,89	
135,0	825,40	
135,5	908,52	
136,0	1000,00	
136,5	1100,69	
137,0	1211,53	
137,5	1333,52	
138,0	1467,80	
138,5	1615,60	
139,0	1778,28	
139,5	1957,34	
140,0	2154,44	
140,5	2371,37	
141,0	2610,16	
141,5	2872,98	
142,0	3162,28	
142,5	3480,70	
143,0	3831,19	
143,5	4216,97	
144,0	4641,59	
144,5	5108,97	
145,0	5623,41	
145,5	6189,66	
146,0	6812,92	
146,5	7498,94	
147,0	8254,04	
147,5	9085,18	
148,0	10000,00	
148,5	11006,94	
149,0	12115,28	
149,5	13335,21	
150,0	14677,99	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 14°C (25,2°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	14
86,0	0,10	
87,0	0,12	
88,0	0,14	
89,0	0,16	
90,0	0,19	
91,0	0,23	
92,0	0,27	
93,0	0,32	
94,0	0,37	
95,0	0,44	
96,0	0,52	
97,0	0,61	
98,0	0,72	
99,0	0,85	
100,0	1,00	
100,5	1,09	
101,0	1,18	
101,5	1,28	
102,0	1,39	
102,5	1,51	
103,0	1,64	
103,5	1,78	
104,0	1,93	
104,5	2,10	
105,0	2,28	
105,5	2,47	
106,0	2,68	
106,5	2,91	
107,0	3,16	
107,5	3,43	
108,0	3,73	
108,5	4,05	
109,0	4,39	
109,5	4,77	
110,0	5,18	
110,5	5,62	
111,0	6,11	
111,5	6,63	
112,0	7,20	
112,5	7,81	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	14
113,0	8,48	
113,5	9,21	
114,0	10,00	
114,5	10,86	
115,0	11,79	
115,5	12,80	
116,0	13,90	
116,5	15,09	
117,0	16,38	
117,5	17,78	
118,0	19,31	
118,5	20,96	
119,0	22,76	
119,5	24,71	
120,0	26,83	
120,5	29,13	
121,0	31,62	
121,5	34,33	
122,0	37,28	
122,5	40,47	
123,0	43,94	
123,5	47,71	
124,0	51,79	
124,5	56,23	
125,0	61,05	
125,5	66,29	
126,0	71,97	
126,5	78,14	
127,0	84,83	
127,5	92,11	
128,0	100,00	
128,5	108,57	
129,0	117,88	
129,5	127,98	
130,0	138,95	
130,5	150,86	
131,0	163,79	
131,5	177,83	
132,0	193,07	
132,5	209,62	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	14
133,0	227,59	
133,5	247,09	
134,0	268,27	
134,5	291,26	
135,0	316,23	
135,5	343,33	
136,0	372,76	
136,5	404,71	
137,0	439,40	
137,5	477,06	
138,0	517,95	
138,5	562,34	
139,0	610,54	
139,5	662,87	
140,0	719,69	
140,5	781,37	
141,0	848,34	
141,5	921,06	
142,0	1000,00	
142,5	1085,71	
143,0	1178,77	
143,5	1279,80	
144,0	1389,50	
144,5	1508,59	
145,0	1637,89	
145,5	1778,28	
146,0	1930,70	
146,5	2096,18	
147,0	2275,85	
147,5	2470,91	
148,0	2682,70	
148,5	2912,63	
149,0	3162,28	
149,5	3433,32	
150,0	3727,59	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 16°C (28,8°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	16
84,0	0,10	
85,0	0,12	
86,0	0,13	
87,0	0,15	
88,0	0,18	
89,0	0,21	
90,0	0,24	
91,0	0,27	
92,0	0,32	
93,0	0,37	
94,0	0,42	
95,0	0,49	
96,0	0,56	
97,0	0,65	
98,0	0,75	
99,0	0,87	
100,0	1,00	
100,5	1,08	
101,0	1,16	
101,5	1,24	
102,0	1,33	
102,5	1,43	
103,0	1,54	
103,5	1,66	
104,0	1,78	
104,5	1,91	
105,0	2,05	
105,5	2,21	
106,0	2,37	
106,5	2,55	
107,0	2,74	
107,5	2,94	
108,0	3,16	
108,5	3,40	
109,0	3,65	
109,5	3,92	
110,0	4,22	
110,5	4,53	
111,0	4,87	
111,5	5,23	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	16
112,0	5,62	
112,5	6,04	
113,0	6,49	
113,5	6,98	
114,0	7,50	
114,5	8,06	
115,0	8,66	
115,5	9,31	
116,0	10,00	
116,5	10,75	
117,0	11,55	
117,5	12,41	
118,0	13,34	
118,5	14,33	
119,0	15,40	
119,5	16,55	
120,0	17,78	
120,5	19,11	
121,0	20,54	
121,5	22,07	
122,0	23,71	
122,5	25,48	
123,0	27,38	
123,5	29,43	
124,0	31,62	
124,5	33,98	
125,0	36,52	
125,5	39,24	
126,0	42,17	
126,5	45,32	
127,0	48,70	
127,5	52,33	
128,0	56,23	
128,5	60,43	
129,0	64,94	
129,5	69,78	
130,0	74,99	
130,5	80,58	
131,0	86,60	
131,5	93,06	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	16
132,0	100,00	
132,5	107,46	
133,0	115,48	
133,5	124,09	
134,0	133,35	
134,5	143,30	
135,0	153,99	
135,5	165,48	
136,0	177,83	
136,5	191,10	
137,0	205,35	
137,5	220,67	
138,0	237,14	
138,5	254,83	
139,0	273,84	
139,5	294,27	
140,0	316,23	
140,5	339,82	
141,0	365,17	
141,5	392,42	
142,0	421,70	
142,5	453,16	
143,0	486,97	
143,5	523,30	
144,0	562,34	
144,5	604,30	
145,0	649,38	
145,5	697,83	
146,0	749,89	
146,5	805,84	
147,0	865,96	
147,5	930,57	
148,0	1000,00	
148,5	1074,61	
149,0	1154,78	
149,5	1240,94	
150,0	1333,52	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 18°C (32,4°F)

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10^{18}}$	
	10	18
82,0	0,10	
83,0	0,11	
84,0	0,13	
85,0	0,15	
86,0	0,17	
87,0	0,19	
88,0	0,22	
89,0	0,25	
90,0	0,28	
91,0	0,32	
92,0	0,36	
93,0	0,41	
94,0	0,46	
95,0	0,53	
96,0	0,60	
97,0	0,68	
98,0	0,77	
99,0	0,88	
100,0	1,00	
100,5	1,07	
101,0	1,14	
101,5	1,21	
102,0	1,29	
102,5	1,38	
103,0	1,47	
103,5	1,57	
104,0	1,67	
104,5	1,78	
105,0	1,90	
105,5	2,02	
106,0	2,15	
106,5	2,30	
107,0	2,45	
107,5	2,61	
108,0	2,78	
108,5	2,97	
109,0	3,16	
109,5	3,37	
110,0	3,59	
110,5	3,83	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10^{18}}$	
	10	18
111,0	4,08	
111,5	4,35	
112,0	4,64	
112,5	4,95	
113,0	5,28	
113,5	5,62	
114,0	6,00	
114,5	6,39	
115,0	6,81	
115,5	7,26	
116,0	7,74	
116,5	8,25	
117,0	8,80	
117,5	9,38	
118,0	10,00	
118,5	10,66	
119,0	11,37	
119,5	12,12	
120,0	12,92	
120,5	13,77	
121,0	14,68	
121,5	15,65	
122,0	16,68	
122,5	17,78	
123,0	18,96	
123,5	20,21	
124,0	21,54	
124,5	22,97	
125,0	24,48	
125,5	26,10	
126,0	27,83	
126,5	29,66	
127,0	31,62	
127,5	33,71	
128,0	35,94	
128,5	38,31	
129,0	40,84	
129,5	43,54	
130,0	46,42	
130,5	49,48	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10^{18}}$	
	10	18
131,0	52,75	
131,5	56,23	
132,0	59,95	
132,5	63,91	
133,0	68,13	
133,5	72,63	
134,0	77,43	
134,5	82,54	
135,0	87,99	
135,5	93,80	
136,0	100,00	
136,5	106,61	
137,0	113,65	
137,5	121,15	
138,0	129,16	
138,5	137,69	
139,0	146,78	
139,5	156,48	
140,0	166,81	
140,5	177,83	
141,0	189,57	
141,5	202,10	
142,0	215,44	
142,5	229,67	
143,0	244,84	
143,5	261,02	
144,0	278,26	
144,5	296,64	
145,0	316,23	
145,5	337,12	
146,0	359,38	
146,5	383,12	
147,0	408,42	
147,5	435,40	
148,0	464,16	
148,5	494,82	
149,0	527,50	
149,5	562,34	
150,0	599,48	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 20°C (36,0°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	20
80,0	0,10	
81,0	0,11	
82,0	0,13	
83,0	0,14	
84,0	0,16	
85,0	0,18	
86,0	0,20	
87,0	0,22	
88,0	0,25	
89,0	0,28	
90,0	0,32	
91,0	0,36	
92,0	0,40	
93,0	0,45	
94,0	0,50	
95,0	0,56	
96,0	0,63	
97,0	0,71	
98,0	0,79	
99,0	0,89	
100,0	1,00	
100,5	1,06	
101,0	1,12	
101,5	1,19	
102,0	1,26	
102,5	1,33	
103,0	1,41	
103,5	1,50	
104,0	1,59	
104,5	1,68	
105,0	1,78	
105,5	1,88	
106,0	2,00	
106,5	2,11	
107,0	2,24	
107,5	2,37	
108,0	2,51	
108,5	2,66	
109,0	2,82	
109,5	2,99	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	20
110,0	3,16	
110,5	3,35	
111,0	3,55	
111,5	3,76	
112,0	3,98	
112,5	4,22	
113,0	4,47	
113,5	4,73	
114,0	5,01	
114,5	5,31	
115,0	5,62	
115,5	5,96	
116,0	6,31	
116,5	6,68	
117,0	7,08	
117,5	7,50	
118,0	7,94	
118,5	8,41	
119,0	8,91	
119,5	9,44	
120,0	10,00	
120,5	10,59	
121,0	11,22	
121,5	11,89	
122,0	12,59	
122,5	13,34	
123,0	14,13	
123,5	14,96	
124,0	15,85	
124,5	16,79	
125,0	17,78	
125,5	18,84	
126,0	19,95	
126,5	21,14	
127,0	22,38	
127,5	23,71	
128,0	25,12	
128,5	26,61	
129,0	28,18	
129,5	29,85	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	20
130,0	31,62	
130,5	33,47	
131,0	35,48	
131,5	37,58	
132,0	39,81	
132,5	42,17	
133,0	44,67	
133,5	47,32	
134,0	50,12	
134,5	53,09	
135,0	56,23	
135,5	59,57	
136,0	63,10	
136,5	66,83	
137,0	70,80	
137,5	74,99	
138,0	79,43	
138,5	84,14	
139,0	89,13	
139,5	94,41	
140,0	100,00	
140,5	105,93	
141,0	112,20	
141,5	118,85	
142,0	125,89	
142,5	133,35	
143,0	141,25	
143,5	149,62	
144,0	158,49	
144,5	167,88	
145,0	177,83	
145,5	188,37	
146,0	199,52	
146,5	211,35	
147,0	223,87	
147,5	237,14	
148,0	251,19	
148,5	266,07	
149,0	281,84	
149,5	298,54	
150,0	316,23	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
 $z = 25^{\circ}\text{C}$ (45,0°F)

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10 \quad 25}$	
	10	25
75,0	0,10	
76,0	0,11	
77,0	0,12	
78,0	0,13	
79,0	0,15	
80,0	0,16	
81,0	0,17	
82,0	0,19	
83,0	0,21	
84,0	0,23	
85,0	0,25	
86,0	0,28	
87,0	0,30	
88,0	0,33	
89,0	0,36	
90,0	0,40	
91,0	0,44	
92,0	0,48	
93,0	0,53	
94,0	0,58	
95,0	0,63	
96,0	0,69	
97,0	0,76	
98,0	0,83	
99,0	0,91	
100,0	1,00	
100,5	1,05	
101,0	1,10	
101,5	1,15	
102,0	1,20	
102,5	1,26	
103,0	1,32	
103,5	1,38	
104,0	1,45	
104,5	1,51	
105,0	1,59	
105,5	1,66	
106,0	1,74	
106,5	1,82	
107,0	1,91	
107,5	2,00	
108,0	2,09	
108,5	2,19	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{25}$	
	10	25
109,0	2,29	
109,5	2,40	
110,0	2,51	
110,5	2,63	
111,0	2,75	
111,5	2,88	
112,0	3,02	
112,5	3,16	
113,0	3,31	
113,5	3,47	
114,0	3,63	
114,5	3,80	
115,0	3,98	
115,5	4,17	
116,0	4,37	
116,5	4,57	
117,0	4,79	
117,5	5,01	
118,0	5,25	
118,5	5,50	
119,0	5,75	
119,5	6,03	
120,0	6,31	
120,5	6,61	
121,0	6,92	
121,5	7,24	
122,0	7,59	
122,5	7,94	
123,0	8,32	
123,5	8,71	
124,0	9,12	
124,5	9,55	
125,0	10,00	
125,5	10,47	
126,0	10,97	
126,5	11,48	
127,0	12,02	
127,5	12,59	
128,0	13,18	
128,5	13,80	
129,0	14,45	
129,5	15,14	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{10 \quad 25}$	
	10	25
130,0	15,85	
130,5	16,60	
131,0	17,39	
131,5	18,20	
132,0	19,06	
132,5	19,95	
133,0	20,89	
133,5	21,88	
134,0	22,91	
134,5	23,99	
135,0	25,12	
135,5	26,30	
136,0	27,54	
136,5	28,84	
137,0	30,20	
137,5	31,62	
138,0	33,11	
138,5	34,67	
139,0	36,31	
139,5	38,02	
140,0	39,81	
140,5	41,69	
141,0	43,65	
141,5	45,70	
142,0	47,86	
142,5	50,12	
143,0	52,48	
143,5	54,95	
144,0	57,54	
144,5	60,26	
145,0	63,10	
145,5	66,07	
146,0	69,18	
146,5	72,44	
147,0	75,86	
147,5	79,43	
148,0	83,18	
148,5	87,10	
149,0	91,20	
149,5	95,50	
150,0	100,00	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 30°C (54°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	30
70,0	0,10	
71,0	0,11	
72,0	0,12	
73,0	0,13	
74,0	0,14	
75,0	0,15	
76,0	0,16	
77,0	0,17	
78,0	0,19	
79,0	0,20	
80,0	0,22	
81,0	0,23	
82,0	0,25	
83,0	0,27	
84,0	0,29	
85,0	0,32	
96,0	0,34	
87,0	0,37	
88,0	0,40	
89,0	0,43	
90,0	0,46	
91,0	0,50	
92,0	0,54	
93,0	0,58	
94,0	0,63	
95,0	0,68	
96,0	0,74	
97,0	0,79	
98,0	0,86	
99,0	0,93	
100,0	1,00	
100,5	1,04	
101,0	1,08	
101,5	1,12	
102,0	1,17	
102,5	1,21	
103,0	1,26	
103,5	1,31	
104,0	1,36	
104,5	1,41	
105,0	1,47	
105,5	1,53	
106,0	1,59	
106,5	1,65	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	30
107,0	1,71	
107,5	1,78	
108,0	1,85	
108,5	1,92	
109,0	2,00	
109,5	2,07	
110,0	2,15	
110,5	2,24	
111,0	2,33	
111,5	2,42	
112,0	2,51	
112,5	2,61	
113,0	2,71	
113,5	2,82	
114,0	2,93	
114,5	3,04	
115,0	3,16	
115,5	3,29	
116,0	3,42	
116,5	3,55	
117,0	3,69	
117,5	3,83	
118,0	3,98	
118,5	4,14	
119,0	4,30	
119,5	4,47	
120,0	4,64	
120,5	4,82	
121,0	5,01	
121,5	5,21	
122,0	5,41	
122,5	5,62	
123,0	5,84	
123,5	6,07	
124,0	6,31	
124,5	6,56	
125,0	6,81	
125,5	7,08	
126,0	7,36	
126,5	7,64	
127,0	7,94	
127,5	8,25	
128,0	8,58	
128,5	8,91	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	30
129,0	9,26	
129,5	9,62	
130,0	10,00	
130,5	10,39	
131,0	10,80	
131,5	11,22	
132,0	11,66	
132,5	12,12	
133,0	12,59	
133,5	13,08	
134,0	13,59	
134,5	14,13	
135,0	14,68	
135,5	15,25	
136,0	15,85	
136,5	16,47	
137,0	17,11	
137,5	17,78	
138,0	18,48	
138,5	19,20	
139,0	19,95	
139,5	20,73	
140,0	21,54	
140,5	22,39	
141,0	23,26	
141,5	24,17	
142,0	25,12	
142,5	26,10	
143,0	27,12	
143,5	28,18	
144,0	29,29	
144,5	30,43	
145,0	31,62	
145,5	32,86	
146,0	34,15	
146,5	35,48	
147,0	36,87	
147,5	38,31	
148,0	39,81	
148,5	41,37	
149,0	42,99	
149,5	44,67	
150,0	46,42	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 32°C (57,6°F)

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{z}$	
	10	32
68,0	0,10	
69,0	0,11	
70,0	0,12	
71,0	0,12	
72,0	0,13	
73,0	0,14	
74,0	0,15	
75,0	0,17	
76,0	0,18	
77,0	0,19	
78,0	0,21	
79,0	0,22	
80,0	0,24	
81,0	0,26	
82,0	0,27	
83,0	0,29	
84,0	0,32	
85,0	0,34	
86,0	0,37	
87,0	0,39	
88,0	0,42	
89,0	0,45	
90,0	0,49	
91,0	0,52	
92,0	0,56	
93,0	0,60	
94,0	0,65	
95,0	0,70	
96,0	0,75	
97,0	0,81	
98,0	0,87	
99,0	0,93	
100,0	1,00	
100,5	1,04	
101,0	1,08	
101,5	1,11	
102,0	1,16	
102,5	1,20	
103,0	1,24	
103,5	1,29	
104,0	1,33	
104,5	1,38	
105,0	1,43	
105,5	1,49	
106,0	1,54	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{z}$	
	10	32
106,5	1,60	
107,0	1,66	
107,5	1,72	
108,0	1,78	
108,5	1,84	
109,0	1,91	
109,5	1,98	
110,0	2,05	
110,5	2,13	
111,0	2,21	
111,5	2,29	
112,0	2,37	
112,5	2,46	
113,0	2,55	
113,5	2,64	
114,0	2,74	
114,5	2,84	
115,0	2,94	
115,5	3,05	
116,0	3,16	
116,5	3,28	
117,0	3,40	
117,5	3,52	
118,0	3,65	
118,5	3,79	
119,0	3,92	
119,5	4,07	
120,0	4,22	
120,5	4,37	
121,0	4,53	
121,5	4,70	
122,0	4,87	
122,5	5,05	
123,0	5,23	
123,5	5,43	
124,0	5,62	
124,5	5,83	
125,0	6,04	
125,5	6,26	
126,0	6,49	
126,5	6,73	
127,0	6,98	
127,5	7,23	
128,0	7,50	
128,5	7,77	

Temperatura °C	Taxa letal $\frac{T - 100}{z}$	
	10	32
129,0	8,06	
129,5	8,35	
130,0	8,66	
130,5	8,98	
131,0	9,31	
131,5	9,65	
132,0	10,00	
132,5	10,37	
133,0	10,75	
133,5	11,14	
134,0	11,55	
134,5	11,97	
135,0	12,41	
135,5	12,86	
136,0	13,34	
136,5	13,82	
137,0	14,33	
137,5	14,86	
138,0	15,40	
138,5	15,96	
139,0	16,55	
139,5	17,15	
140,0	17,78	
140,5	18,43	
141,0	19,11	
141,5	19,81	
142,0	20,54	
142,5	21,29	
143,0	22,07	
143,5	22,88	
144,0	23,71	
144,5	24,58	
145,0	25,48	
145,5	26,42	
146,0	27,38	
146,5	28,39	
147,0	29,43	
147,5	30,51	
148,0	31,62	
148,5	32,78	
149,0	33,98	
149,5	35,23	
150,0	36,52	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)

$z = 33^{\circ}\text{C} (59,4^{\circ}\text{F})$

$Q_{10} = 2$

Temperatura oc	Taxa letal T - 100	
	10	33
67,0	0,10	
68,0	0,11	
69,0	0,12	
70,0	0,12	
71,0	0,13	
72,0	0,14	
73,0	0,15	
74,0	0,16	
75,0	0,18	
76,0	0,19	
77,0	0,20	
78,0	0,22	
79,0	0,23	
80,0	0,25	
81,0	0,27	
82,0	0,29	
83,0	0,31	
84,0	0,33	
85,0	0,35	
86,0	0,38	
87,0	0,40	
88,0	0,43	
89,0	0,46	
90,0	0,50	
91,0	0,53	
92,0	0,57	
93,0	0,61	
94,0	0,66	
95,0	0,71	
96,0	0,76	
97,0	0,81	
98,0	0,87	
99,0	0,93	
100,0	1,00	
100,5	1,04	
101,0	1,07	
101,5	1,11	
102,0	1,15	
102,5	1,19	
103,0	1,23	
103,5	1,28	
104,0	1,32	
104,5	1,37	
105,0	1,42	
105,5	1,47	

Temperatura oc	Taxa letal T - 100	
	10	33
106,0	1,52	
106,5	1,57	
107,0	1,63	
107,5	1,69	
108,0	1,75	
108,5	1,81	
109,0	1,87	
109,5	1,94	
110,0	2,00	
110,5	2,08	
111,0	2,15	
111,5	2,23	
112,0	2,31	
112,5	2,39	
113,0	2,48	
113,5	2,57	
114,0	2,66	
114,5	2,75	
115,0	2,85	
115,5	2,95	
116,0	3,06	
116,5	3,16	
117,0	3,28	
117,5	3,39	
118,0	3,50	
118,5	3,64	
119,0	3,77	
119,5	3,90	
120,0	4,04	
120,5	4,18	
121,0	4,33	
121,5	4,48	
122,0	4,64	
122,5	4,81	
123,0	4,98	
123,5	5,15	
124,0	5,35	
124,5	5,53	
125,0	5,70	
125,5	5,93	
126,0	6,14	
126,5	6,35	
127,0	6,58	
127,5	6,81	
128,0	7,06	

Temperatura oc	Taxa letal T - 100	
	10	33
128,5	7,31	
129,0	7,56	
129,5	7,83	
130,0	8,14	
130,5	8,40	
131,0	8,70	
131,5	9,01	
132,0	9,33	
132,5	9,66	
133,0	10,00	
133,5	10,36	
134,0	10,72	
134,5	11,10	
135,0	11,50	
135,5	11,91	
136,0	12,33	
136,5	12,77	
137,0	13,22	
137,5	13,69	
138,0	14,18	
138,5	14,68	
139,0	15,20	
139,5	15,74	
140,0	16,30	
140,5	16,88	
141,0	17,48	
141,5	18,10	
142,0	18,74	
142,5	19,40	
143,0	20,09	
143,5	20,81	
144,0	21,54	
144,5	22,31	
145,0	23,10	
145,5	23,92	
146,0	24,77	
146,5	25,65	
147,0	26,56	
147,5	27,54	
148,0	28,48	
148,5	29,49	
149,0	30,54	
149,5	31,62	
150,0	32,75	

Temperatura de referência = 100°C (212°F)
z = 34°C (61,2°F)

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	34
66,0	0,10	
67,0	0,11	
68,0	0,12	
69,0	0,12	
70,0	0,13	
71,0	0,14	
72,0	0,15	
73,0	0,16	
74,0	0,17	
75,0	0,18	
76,0	0,20	
77,0	0,21	
78,0	0,23	
79,0	0,24	
80,0	0,26	
81,0	0,28	
82,0	0,30	
83,0	0,32	
84,0	0,34	
85,0	0,36	
86,0	0,39	
87,0	0,42	
88,0	0,44	
89,0	0,48	
90,0	0,51	
91,0	0,54	
92,0	0,58	
93,0	0,62	
94,0	0,67	
95,0	0,71	
96,0	0,76	
97,0	0,82	
98,0	0,87	
99,0	0,94	
100,0	1,00	
100,5	1,03	
101,0	1,07	
101,5	1,11	
102,0	1,15	
102,5	1,18	
103,0	1,23	
103,5	1,27	
104,0	1,31	
104,5	1,36	
105,0	1,40	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	34
105,5	1,45	
106,0	1,50	
106,5	1,55	
107,0	1,61	
107,5	1,66	
108,0	1,72	
108,5	1,78	
109,0	1,84	
109,5	1,90	
110,0	1,97	
110,5	2,04	
111,0	2,11	
111,5	2,18	
112,0	2,25	
112,5	2,33	
113,0	2,41	
113,5	2,50	
114,0	2,58	
114,5	2,67	
115,0	2,76	
115,5	2,86	
116,0	2,96	
116,5	3,06	
117,0	3,16	
117,5	3,27	
118,0	3,38	
118,5	3,50	
119,0	3,62	
119,5	3,75	
120,0	3,87	
120,5	4,01	
121,0	4,15	
121,5	4,29	
122,0	4,44	
122,5	4,59	
123,0	4,75	
123,5	4,91	
124,0	5,08	
124,5	5,26	
125,0	5,44	
125,5	5,62	
126,0	5,82	
126,5	6,02	
127,0	6,23	
127,5	6,44	

Temperatura °C	Taxa letal T - 100	
	10	34
128,0	6,66	
128,5	6,89	
129,0	7,13	
129,5	7,37	
130,0	7,63	
130,5	7,89	
131,0	8,16	
131,5	8,44	
132,0	8,73	
132,5	9,03	
133,0	9,35	
133,5	9,67	
134,0	10,00	
134,5	10,34	
135,0	10,70	
135,5	11,07	
136,0	11,45	
136,5	11,85	
137,0	12,25	
137,5	12,68	
138,0	13,11	
138,5	13,56	
139,0	14,03	
139,5	14,51	
140,0	15,01	
140,5	15,53	
141,0	16,07	
141,5	16,62	
142,0	17,19	
142,5	17,78	
143,0	18,40	
143,5	19,03	
144,0	19,68	
144,5	20,36	
145,0	21,06	
145,5	21,79	
146,0	22,54	
146,5	23,32	
147,0	24,12	
147,5	24,95	
148,0	25,81	
148,5	26,70	
149,0	27,62	
149,5	28,57	
150,0	29,55	

APÊNDICE II*

Valores de R(R = fh/U) em função do log g**

Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R
-2.150	0.350	-1.600	0.433	-1.225	0.517	-0.950	0.599	-0.750	0.693	-0.640	0.747
-2.140	0.351	-1.590	0.435	-1.220	0.518	-0.945	0.602	-0.748	0.694	-0.638	0.748
-2.130	0.352	-1.580	0.437	-1.215	0.519	-0.940	0.604	-0.746	0.695	-0.636	0.750
-2.120	0.353	-1.570	0.439	-1.210	0.521	-0.935	0.607	-0.744	0.696	-0.634	0.751
-2.110	0.355	-1.560	0.441	-1.205	0.522	-0.930	0.609	-0.742	0.697	-0.632	0.752
-2.100	0.356	-1.550	0.442	-1.200	0.524	-0.925	0.611	-0.740	0.698	-0.630	0.753
-2.090	0.357	-1.540	0.444	-1.195	0.525	-0.920	0.614	-0.738	0.699	-0.628	0.754
-2.080	0.358	-1.530	0.446	-1.190	0.526	-0.915	0.616	-0.736	0.700	-0.626	0.755
-2.070	0.360	-1.520	0.448	-1.185	0.527	-0.910	0.618	-0.734	0.701	-0.624	0.756
-2.060	0.361	-1.510	0.450	-1.180	0.529	-0.905	0.621	-0.732	0.702	-0.622	0.757
-2.050	0.362	-1.500	0.452	-1.175	0.531	-0.900	0.623	-0.730	0.703	-0.620	0.758
-2.040	0.364	-1.490	0.455	-1.170	0.532	-0.895	0.626	-0.728	0.704	-0.618	0.759
-2.030	0.365	-1.480	0.457	-1.165	0.533	-0.890	0.628	-0.726	0.705	-0.616	0.760
-2.020	0.366	-1.470	0.459	-1.160	0.535	-0.885	0.630	-0.724	0.706	-0.614	0.761
-2.010	0.368	-1.460	0.461	-1.155	0.536	-0.880	0.633	-0.722	0.707	-0.612	0.762
-2.000	0.369	-1.450	0.463	-1.150	0.538	-0.875	0.635	-0.720	0.708	-0.610	0.763
-1.990	0.370	-1.440	0.465	-1.145	0.539	-0.870	0.637	-0.718	0.709	-0.608	0.764
-1.980	0.372	-1.430	0.467	-1.140	0.541	-0.865	0.640	-0.716	0.710	-0.606	0.765
-1.970	0.373	-1.420	0.469	-1.135	0.542	-0.860	0.642	-0.714	0.711	-0.604	0.766
-1.960	0.375	-1.410	0.472	-1.130	0.543	-0.855	0.644	-0.712	0.711	-0.602	0.768
-1.950	0.376	-1.400	0.474	-1.125	0.545	-0.850	0.647	-0.710	0.712	-0.600	0.769
-1.940	0.377	-1.395	0.475	-1.120	0.546	-0.845	0.649	-0.708	0.713	-0.598	0.770
-1.930	0.379	-1.390	0.476	-1.115	0.548	-0.840	0.651	-0.706	0.714	-0.596	0.771
-1.920	0.380	-1.385	0.477	-1.110	0.549	-0.835	0.654	-0.704	0.715	-0.594	0.772
-1.910	0.382	-1.380	0.478	-1.105	0.551	-0.830	0.656	-0.702	0.716	-0.592	0.773
-1.900	0.383	-1.375	0.480	-1.100	0.552	-0.825	0.658	-0.700	0.717	-0.590	0.774
-1.890	0.385	-1.370	0.481	-1.095	0.554	-0.820	0.660	-0.698	0.718	-0.588	0.775
-1.880	0.386	-1.365	0.482	-1.090	0.556	-0.815	0.663	-0.696	0.719	-0.586	0.776
-1.870	0.388	-1.360	0.483	-1.085	0.557	-0.810	0.665	-0.694	0.720	-0.584	0.777
-1.860	0.389	-1.355	0.484	-1.080	0.559	-0.805	0.667	-0.692	0.721	-0.582	0.778
-1.850	0.391	-1.350	0.485	-1.075	0.560	-0.800	0.670	-0.690	0.722	-0.580	0.780
-1.840	0.392	-1.345	0.487	-1.070	0.562	-0.798	0.671	-0.688	0.723	-0.578	0.781
-1.830	0.394	-1.340	0.488	-1.065	0.563	-0.796	0.672	-0.686	0.724	-0.576	0.782
-1.820	0.395	-1.335	0.489	-1.060	0.565	-0.794	0.673	-0.684	0.725	-0.574	0.783
-1.810	0.397	-1.330	0.490	-1.055	0.567	-0.792	0.674	-0.682	0.726	-0.572	0.784
-1.800	0.398	-1.325	0.491	-1.050	0.568	-0.790	0.674	-0.680	0.727	-0.570	0.785
-1.790	0.400	-1.320	0.493	-1.045	0.570	-0.788	0.675	-0.678	0.728	-0.568	0.786
-1.780	0.402	-1.315	0.494	-1.040	0.571	-0.786	0.676	-0.676	0.729	-0.566	0.787
-1.770	0.403	-1.310	0.495	-1.035	0.573	-0.784	0.677	-0.674	0.730	-0.564	0.789
-1.760	0.405	-1.305	0.496	-1.030	0.575	-0.782	0.678	-0.672	0.731	-0.562	0.790
-1.750	0.407	-1.300	0.498	-1.025	0.576	-0.780	0.679	-0.670	0.732	-0.560	0.791
-1.740	0.408	-1.295	0.499	-1.020	0.578	-0.778	0.680	-0.668	0.733	-0.558	0.792
-1.730	0.410	-1.290	0.500	-1.015	0.580	-0.776	0.681	-0.666	0.734	-0.556	0.793
-1.720	0.412	-1.285	0.501	-1.010	0.581	-0.774	0.682	-0.664	0.735	-0.554	0.794
-1.710	0.413	-1.280	0.503	-1.005	0.583	-0.772	0.683	-0.662	0.736	-0.552	0.795
-1.700	0.415	-1.275	0.504	-1.000	0.585	-0.770	0.684	-0.660	0.737	-0.550	0.797
-1.690	0.417	-1.270	0.505	-0.995	0.587	-0.768	0.685	-0.658	0.738	-0.548	0.798
-1.680	0.418	-1.265	0.506	-0.990	0.588	-0.766	0.686	-0.656	0.739	-0.546	0.799
-1.670	0.420	-1.260	0.508	-0.985	0.590	-0.764	0.687	-0.654	0.740	-0.544	0.800
-1.660	0.422	-1.255	0.509	-0.980	0.592	-0.762	0.688	-0.652	0.741	-0.542	0.801
-1.650	0.424	-1.250	0.510	-0.975	0.593	-0.760	0.689	-0.650	0.742	-0.540	0.802
-1.640	0.426	-1.245	0.512	-0.970	0.595	-0.758	0.689	-0.648	0.743	-0.538	0.804
-1.630	0.427	-1.240	0.513	-0.965	0.597	-0.756	0.690	-0.646	0.744	-0.536	0.805
-1.620	0.429	-1.235	0.514	-0.960	0.599	-0.754	0.691	-0.644	0.745	-0.534	0.806
-1.610	0.431	-1.230	0.515	-0.955	0.601	-0.752	0.692	-0.642	0.746	-0.532	0.807

(continua)

* PFLUG, I.J. (1990).

** Valores da tabela foram calculados das equações e parâmetros de VINTER (1975).

(continuação)

Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R
-0.530	0.808	-0.420	0.880	-0.310	0.966	-0.200	1.071	-0.090	1.200	0.020	1.362
-0.528	0.809	-0.418	0.881	-0.308	0.967	-0.198	1.073	-0.088	1.203	0.022	1.366
-0.526	0.811	-0.416	0.883	-0.306	0.969	-0.196	1.075	-0.086	1.206	0.024	1.369
-0.524	0.812	-0.414	0.884	-0.304	0.971	-0.194	1.077	-0.084	1.208	0.026	1.372
-0.522	0.813	-0.412	0.885	-0.302	0.972	-0.192	1.079	-0.082	1.211	0.028	1.375
-0.520	0.814	-0.410	0.887	-0.300	0.974	-0.190	1.081	-0.080	1.214	0.030	1.379
-0.518	0.815	-0.408	0.888	-0.298	0.976	-0.188	1.083	-0.078	1.216	0.032	1.382
-0.516	0.817	-0.406	0.890	-0.296	0.978	-0.186	1.086	-0.076	1.219	0.034	1.386
-0.514	0.818	-0.404	0.891	-0.294	0.980	-0.184	1.088	-0.074	1.222	0.036	1.389
-0.512	0.819	-0.402	0.893	-0.292	0.981	-0.182	1.090	-0.072	1.224	0.038	1.392
-0.510	0.820	-0.400	0.894	-0.290	0.983	-0.180	1.092	-0.070	1.227	0.040	1.396
-0.508	0.822	-0.398	0.896	-0.288	0.985	-0.178	1.094	-0.068	1.230	0.042	1.399
-0.506	0.823	-0.396	0.897	-0.286	0.987	-0.176	1.097	-0.066	1.233	0.044	1.403
-0.504	0.824	-0.394	0.898	-0.284	0.988	-0.174	1.099	-0.064	1.235	0.046	1.406
-0.502	0.825	-0.392	0.900	-0.282	0.990	-0.172	1.101	-0.062	1.238	0.048	1.410
-0.500	0.827	-0.390	0.901	-0.280	0.992	-0.170	1.103	-0.060	1.241	0.050	1.413
-0.498	0.828	-0.388	0.903	-0.278	0.994	-0.168	1.105	-0.058	1.244	0.052	1.417
-0.496	0.829	-0.386	0.904	-0.276	0.996	-0.166	1.108	-0.056	1.247	0.054	1.420
-0.494	0.830	-0.384	0.906	-0.274	0.998	-0.164	1.110	-0.054	1.249	0.056	1.424
-0.492	0.832	-0.382	0.907	-0.272	0.999	-0.162	1.112	-0.052	1.252	0.058	1.427
-0.490	0.833	-0.380	0.909	-0.270	1.001	-0.160	1.115	-0.050	1.255	0.060	1.431
-0.488	0.834	-0.378	0.911	-0.268	1.003	-0.158	1.117	-0.048	1.258	0.062	1.435
-0.486	0.835	-0.376	0.912	-0.266	1.005	-0.156	1.119	-0.046	1.261	0.064	1.438
-0.484	0.837	-0.374	0.914	-0.264	1.007	-0.154	1.121	-0.044	1.264	0.066	1.442
-0.482	0.838	-0.372	0.915	-0.262	1.009	-0.152	1.124	-0.042	1.266	0.068	1.445
-0.480	0.839	-0.370	0.917	-0.260	1.011	-0.150	1.126	-0.040	1.269	0.070	1.449
-0.478	0.840	-0.368	0.918	-0.258	1.013	-0.148	1.128	-0.038	1.272	0.072	1.453
-0.476	0.842	-0.366	0.920	-0.256	1.014	-0.146	1.131	-0.036	1.275	0.074	1.456
-0.474	0.843	-0.364	0.921	-0.254	1.016	-0.144	1.133	-0.034	1.278	0.076	1.460
-0.472	0.844	-0.362	0.923	-0.252	1.018	-0.142	1.135	-0.032	1.281	0.078	1.464
-0.470	0.846	-0.360	0.924	-0.250	1.020	-0.140	1.138	-0.030	1.284	0.080	1.468
-0.468	0.847	-0.358	0.926	-0.248	1.022	-0.138	1.140	-0.028	1.287	0.082	1.471
-0.466	0.848	-0.356	0.928	-0.246	1.024	-0.136	1.143	-0.026	1.290	0.084	1.475
-0.464	0.850	-0.354	0.929	-0.244	1.026	-0.134	1.145	-0.024	1.293	0.086	1.479
-0.462	0.851	-0.352	0.931	-0.242	1.028	-0.132	1.147	-0.022	1.296	0.088	1.483
-0.460	0.852	-0.350	0.932	-0.240	1.030	-0.130	1.150	-0.020	1.299	0.090	1.487
-0.458	0.854	-0.348	0.934	-0.238	1.032	-0.128	1.152	-0.018	1.302	0.092	1.490
-0.456	0.855	-0.346	0.936	-0.236	1.034	-0.126	1.155	-0.016	1.305	0.094	1.494
-0.454	0.856	-0.344	0.937	-0.234	1.036	-0.124	1.157	-0.014	1.308	0.096	1.498
-0.452	0.858	-0.342	0.939	-0.232	1.038	-0.122	1.160	-0.012	1.311	0.098	1.502
-0.450	0.859	-0.340	0.940	-0.230	1.040	-0.120	1.162	-0.010	1.314	0.100	1.506
-0.448	0.860	-0.338	0.942	-0.228	1.042	-0.118	1.165	-0.008	1.317	0.102	1.510
-0.446	0.862	-0.336	0.944	-0.226	1.044	-0.116	1.167	-0.006	1.321	0.104	1.514
-0.444	0.863	-0.334	0.945	-0.224	1.046	-0.114	1.170	-0.004	1.324	0.106	1.518
-0.442	0.864	-0.332	0.947	-0.222	1.048	-0.112	1.172	-0.002	1.327	0.108	1.522
-0.440	0.866	-0.330	0.949	-0.220	1.050	-0.110	1.175	0.000	1.330	0.110	1.526
-0.438	0.867	-0.328	0.950	-0.218	1.052	-0.108	1.177	0.002	1.333	0.112	1.530
-0.436	0.868	-0.326	0.952	-0.216	1.054	-0.106	1.180	0.004	1.336	0.114	1.534
-0.434	0.870	-0.324	0.954	-0.214	1.056	-0.104	1.182	0.006	1.339	0.116	1.538
-0.432	0.871	-0.322	0.955	-0.212	1.058	-0.102	1.185	0.008	1.343	0.118	1.542
-0.430	0.873	-0.320	0.957	-0.210	1.060	-0.100	1.187	0.010	1.346	0.120	1.546
-0.428	0.874	-0.318	0.959	-0.208	1.062	-0.098	1.190	0.012	1.349	0.122	1.550
-0.426	0.875	-0.316	0.960	-0.206	1.064	-0.096	1.192	0.014	1.352	0.124	1.554
-0.424	0.877	-0.314	0.962	-0.204	1.066	-0.094	1.195	0.016	1.356	0.126	1.558
-0.422	0.878	-0.312	0.964	-0.202	1.068	-0.092	1.198	0.018	1.359	0.128	1.563

(continua)

(continuação)

Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R
0.130	1.567	0.240	1.829	0.350	2.174	0.460	2.640	0.570	3.294	0.680	4.252		
0.132	1.571	0.242	1.835	0.352	2.181	0.462	2.650	0.572	3.308	0.682	4.274		
0.134	1.575	0.244	1.840	0.354	2.189	0.464	2.660	0.574	3.323	0.684	4.295		
0.136	1.579	0.246	1.846	0.356	2.196	0.466	2.671	0.576	3.337	0.686	4.317		
0.138	1.584	0.248	1.851	0.358	2.203	0.468	2.681	0.578	3.352	0.688	4.339		
0.140	1.588	0.250	1.857	0.360	2.211	0.470	2.691	0.580	3.366	0.690	4.361		
0.142	1.592	0.252	1.862	0.362	2.218	0.472	2.701	0.582	3.381	0.692	4.383		
0.144	1.597	0.254	1.868	0.364	2.226	0.474	2.711	0.584	3.396	0.694	4.406		
0.146	1.601	0.256	1.874	0.366	2.233	0.476	2.722	0.586	3.411	0.696	4.428		
0.148	1.605	0.258	1.879	0.368	2.241	0.478	2.732	0.588	3.426	0.698	4.451		
0.150	1.610	0.260	1.885	0.370	2.248	0.480	2.743	0.590	3.441	0.700	4.474		
0.152	1.614	0.262	1.891	0.372	2.256	0.482	2.753	0.592	3.456	0.702	4.497		
0.154	1.618	0.264	1.897	0.374	2.264	0.484	2.764	0.594	3.472	0.704	4.520		
0.156	1.623	0.266	1.902	0.376	2.272	0.486	2.775	0.596	3.487	0.706	4.544		
0.158	1.627	0.268	1.908	0.378	2.279	0.488	2.786	0.598	3.503	0.708	4.568		
0.160	1.632	0.270	1.914	0.380	2.287	0.490	2.796	0.600	3.519	0.710	4.591		
0.162	1.636	0.272	1.920	0.382	2.295	0.492	2.807	0.602	3.534	0.712	4.616		
0.164	1.641	0.274	1.926	0.384	2.303	0.494	2.818	0.604	3.550	0.714	4.640		
0.166	1.645	0.276	1.932	0.386	2.311	0.496	2.829	0.606	3.566	0.716	4.664		
0.168	1.650	0.278	1.938	0.388	2.319	0.498	2.841	0.608	3.583	0.718	4.689		
0.170	1.654	0.280	1.944	0.390	2.327	0.500	2.852	0.610	3.599	0.720	4.714		
0.172	1.659	0.282	1.950	0.392	2.335	0.502	2.863	0.612	3.615	0.722	4.739		
0.174	1.664	0.284	1.956	0.394	2.343	0.504	2.874	0.614	3.632	0.724	4.764		
0.176	1.668	0.286	1.962	0.396	2.351	0.506	2.886	0.616	3.648	0.726	4.790		
0.178	1.673	0.288	1.968	0.398	2.360	0.508	2.897	0.618	3.665	0.728	4.816		
0.180	1.678	0.290	1.974	0.400	2.368	0.510	2.909	0.620	3.682	0.730	4.842		
0.182	1.682	0.292	1.980	0.402	2.376	0.512	2.921	0.622	3.699	0.732	4.868		
0.184	1.687	0.294	1.986	0.404	2.385	0.514	2.932	0.624	3.716	0.734	4.894		
0.186	1.692	0.296	1.993	0.406	2.393	0.516	2.944	0.626	3.734	0.736	4.921		
0.188	1.697	0.298	1.999	0.408	2.402	0.518	2.956	0.628	3.751	0.738	4.948		
0.190	1.701	0.300	2.005	0.410	2.410	0.520	2.968	0.630	3.768	0.740	4.975		
0.192	1.706	0.302	2.012	0.412	2.419	0.522	2.980	0.632	3.786	0.742	5.002		
0.194	1.711	0.304	2.018	0.414	2.427	0.524	2.992	0.634	3.804	0.744	5.029		
0.196	1.716	0.306	2.024	0.416	2.436	0.526	3.004	0.636	3.822	0.746	5.057		
0.198	1.721	0.308	2.031	0.418	2.445	0.528	3.017	0.638	3.840	0.748	5.085		
0.200	1.726	0.310	2.037	0.420	2.454	0.530	3.029	0.640	3.858	0.750	5.113		
0.202	1.731	0.312	2.044	0.422	2.462	0.532	3.041	0.642	3.876	0.752	5.142		
0.204	1.736	0.314	2.050	0.424	2.471	0.534	3.054	0.644	3.895	0.754	5.171		
0.206	1.741	0.316	2.057	0.426	2.480	0.536	3.066	0.646	3.913	0.756	5.200		
0.208	1.746	0.318	2.063	0.428	2.489	0.538	3.079	0.648	3.932	0.758	5.229		
0.210	1.751	0.320	2.070	0.430	2.498	0.540	3.092	0.650	3.951	0.760	5.258		
0.212	1.756	0.322	2.077	0.432	2.507	0.542	3.105	0.652	3.970	0.762	5.288		
0.214	1.761	0.324	2.084	0.434	2.516	0.544	3.118	0.654	3.989	0.764	5.318		
0.216	1.766	0.326	2.090	0.436	2.526	0.546	3.131	0.656	4.009	0.766	5.348		
0.218	1.771	0.328	2.097	0.438	2.535	0.548	3.144	0.658	4.028	0.768	5.379		
0.220	1.776	0.330	2.104	0.440	2.544	0.550	3.157	0.660	4.048	0.770	5.410		
0.222	1.782	0.332	2.111	0.442	2.554	0.552	3.170	0.662	4.067	0.772	5.441		
0.224	1.787	0.334	2.118	0.444	2.563	0.554	3.183	0.664	4.087	0.774	5.472		
0.226	1.792	0.336	2.125	0.446	2.572	0.556	3.197	0.666	4.107	0.776	5.504		
0.228	1.797	0.338	2.132	0.448	2.582	0.558	3.211	0.668	4.128	0.778	5.536		
0.230	1.803	0.340	2.139	0.450	2.592	0.560	3.224	0.670	4.148	0.780	5.568		
0.232	1.808	0.342	2.146	0.452	2.601	0.562	3.238	0.672	4.169	0.782	5.600		
0.234	1.813	0.344	2.153	0.454	2.611	0.564	3.252	0.674	4.189	0.784	5.633		
0.236	1.819	0.346	2.160	0.456	2.621	0.566	3.266	0.676	4.210	0.786	5.666		
0.238	1.824	0.348	2.167	0.458	2.631	0.568	3.280	0.678	4.231	0.788	5.699		

(continua)

(continuação)

Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R	Log g	R
0.790	5.733	0.900	8.168	1.010	12.48	1.120	20.82	1.230	38.72	1.340	82.32
0.792	5.767	0.902	8.226	1.012	12.59	1.122	21.03	1.232	39.20	1.342	83.58
0.794	5.801	0.904	8.284	1.014	12.69	1.124	21.25	1.234	39.69	1.344	84.86
0.796	5.836	0.906	8.343	1.016	12.80	1.126	21.47	1.236	40.19	1.346	86.16
0.798	5.871	0.908	8.402	1.018	12.91	1.128	21.69	1.238	40.70	1.348	87.49
0.800	5.906	0.910	8.463	1.020	13.02	1.130	21.92	1.240	41.22	1.350	88.84
0.802	5.941	0.912	8.523	1.022	13.14	1.132	22.15	1.242	41.75	1.352	90.22
0.804	5.977	0.914	8.585	1.024	13.25	1.134	22.38	1.244	42.28	1.354	91.63
0.806	6.013	0.916	8.647	1.026	13.37	1.136	22.62	1.246	42.82	1.356	93.06
0.808	6.050	0.918	8.709	1.028	13.48	1.138	22.86	1.248	43.37	1.358	94.52
0.810	6.087	0.920	8.773	1.030	13.60	1.140	23.10	1.250	43.93	1.360	96.01
0.812	6.124	0.922	8.837	1.032	13.72	1.142	23.35	1.252	44.50	1.362	97.52
0.814	6.161	0.924	8.901	1.034	13.84	1.144	23.60	1.254	45.08	1.364	99.07
0.816	6.199	0.926	8.967	1.036	13.96	1.146	23.85	1.256	45.67	1.366	100.6
0.818	6.237	0.928	9.033	1.038	14.09	1.148	24.11	1.258	46.27	1.368	102.3
0.820	6.276	0.930	9.100	1.040	14.21	1.150	24.37	1.260	46.88	1.370	103.9
0.822	6.315	0.932	9.167	1.042	14.34	1.152	24.63	1.262	47.50	1.372	105.6
0.824	6.354	0.934	9.235	1.044	14.47	1.154	24.90	1.264	48.13	1.374	107.3
0.826	6.394	0.936	9.304	1.046	14.60	1.156	25.17	1.266	48.77	1.376	109.0
0.828	6.434	0.938	9.374	1.048	14.73	1.158	25.45	1.268	49.42	1.378	110.8
0.830	6.474	0.940	9.445	1.050	14.87	1.160	25.73	1.270	50.08	1.380	112.6
0.832	6.515	0.942	9.516	1.052	15.00	1.162	26.01	1.272	50.76	1.382	114.4
0.834	6.556	0.944	9.588	1.054	15.14	1.164	26.30	1.274	51.44	1.384	116.3
0.836	6.598	0.946	9.661	1.056	15.28	1.166	26.59	1.276	52.14	1.386	118.2
0.838	6.640	0.948	9.734	1.058	15.42	1.168	26.89	1.278	52.85	1.388	120.2
0.840	6.682	0.950	9.809	1.060	15.56	1.170	27.19	1.280	53.57	1.390	122.7
0.842	6.725	0.952	9.884	1.062	15.70	1.172	27.50	1.282	54.30	1.392	124.2
0.844	6.768	0.954	9.960	1.064	15.85	1.174	27.81	1.284	55.05	1.394	126.3
0.846	6.812	0.956	10.04	1.066	16.00	1.176	28.12	1.286	55.81	1.396	128.4
0.848	6.856	0.958	10.11	1.068	16.15	1.178	28.44	1.288	56.58	1.398	130.6
0.850	6.901	0.960	10.19	1.070	16.30	1.180	28.77	1.290	57.36	1.400	132.8
0.852	6.946	0.962	10.27	1.072	16.45	1.182	29.10	1.292	58.16	1.402	135.0
0.854	6.991	0.964	10.35	1.074	16.61	1.184	29.43	1.294	58.98	1.404	137.4
0.856	7.037	0.966	10.43	1.076	16.77	1.186	29.77	1.296	59.80	1.406	139.7
0.858	7.083	0.968	10.52	1.078	16.93	1.188	30.11	1.298	60.65	1.408	142.1
0.860	7.130	0.970	10.60	1.080	17.09	1.190	30.46	1.300	61.50	1.410	144.5
0.862	7.177	0.972	10.68	1.082	17.25	1.192	30.82	1.302	62.38	1.412	147.0
0.864	7.224	0.974	10.77	1.084	17.42	1.194	31.18	1.304	63.27	1.414	149.6
0.866	7.272	0.976	10.86	1.086	17.59	1.196	31.55	1.306	64.17	1.416	152.2
0.868	7.321	0.978	10.94	1.088	17.76	1.198	31.92	1.308	65.09	1.418	154.9
0.870	7.370	0.980	11.03	1.090	17.93	1.200	32.29	1.310	66.03	1.420	157.6
0.872	7.420	0.982	11.12	1.092	18.10	1.202	32.68	1.312	66.98	1.422	160.3
0.874	7.470	0.984	11.21	1.094	18.28	1.204	33.07	1.314	67.95	1.424	163.2
0.876	7.520	0.986	11.30	1.096	18.46	1.206	33.46	1.316	68.94	1.426	166.1
0.878	7.571	0.988	11.39	1.098	18.64	1.208	33.86	1.318	69.95	1.428	169.0
0.880	7.623	0.990	11.49	1.100	18.83	1.210	34.27	1.320	70.97	1.430	172.0
0.882	7.675	0.992	11.58	1.102	19.01	1.212	34.68	1.322	72.02	1.432	175.1
0.884	7.728	0.994	11.68	1.104	19.20	1.214	35.11	1.324	73.08	1.434	178.3
0.886	7.781	0.996	11.77	1.106	19.40	1.216	35.53	1.326	74.16	1.436	181.5
0.888	7.834	0.998	11.87	1.108	19.59	1.218	35.97	1.328	75.27	1.438	184.8
0.890	7.889	1.000	11.97	1.110	19.79	1.220	36.41	1.330	76.39	1.440	188.1
0.892	7.943	1.002	12.07	1.112	19.99	1.222	36.85	1.332	77.53	1.442	191.5
0.894	7.999	1.004	12.17	1.114	20.19	1.224	37.31	1.334	78.70	1.444	195.0
0.896	8.055	1.006	12.27	1.116	20.40	1.226	37.77	1.336	79.88	1.446	198.6
0.898	8.111	1.008	12.38	1.118	20.61	1.228	38.24	1.338	81.09	1.448	202.3