



1150052278

HILTON DUPART NASCIMENTO
=Cirurgião Dentista=

FOP
T/UNICAMP N17c



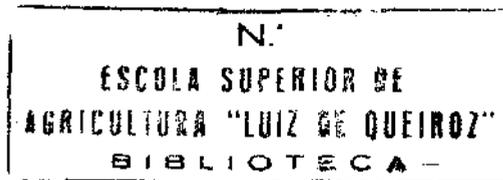
CONDUTIBILIDADE TERMICA EM MATERIAIS RESTAURADORES

- 1 - Um aparelho para a sua mensuração;
- 2 - Sua aplicação ao cimento de fosfato de zinco.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA
BIBLIOTECA

T/142

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade de Campinas, para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências (Dentística Operatória).



PIRACICABA

1967

A meus pais e irmã

A Nênive e ao Júnior

Manifestamos tôda a nossa gratidão aos integrantes da Cadeira de Física e Meteorologia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo:

Prof. Dr. ADMAR CERVELLINI, Professor Cate-
drático,

Prof. Dr. ENÉAS SALATTI, Professor de Disci-
plina,

e muito particularmente ao

Dr. AFONSO DECICO, Instrutor da Cadeira,

e também ao

Sr. HERMÍNIO HANSEN, Técnico de Laboratório,

pela inestimável orientação científica e co-
laboração técnica recebidas.

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Professor Doutor CARLOS HENRIQUE ROBERTSON LIBERALLI, Diretor da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade de Campinas, a quem esta Casa deve suas diretrizes básicas e suas realizações no campo da Ciência e da Técnica.

- Ao Professor Doutor DALTON BELMUDES DE TOLDO, Regente da Cadeira de Dentística Operatória, pela confiança depositada.

- Ao Professor Doutor LUIZ ANTONIO RUHNKE, Regente da Cadeira de Materiais Dentários, pela solícita orientação.

- Ao Professor Doutor LEO WERNER SUFFERT, catedrático da Cadeira de Materiais Dentários da Universidade do Rio Grande do Sul, pelas valiosas sugestões.

- Ao Doutor ROBERTO SIMIONATO DE MORAES, Assistente Doutor da Cadeira de Matemática da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pelos cálculos estatísticos efetuados.

- Aos Professores Assistentes Doutores RENÉ GUERRINI e WAIL HEBLING, pela valiosa colaboração no setor de revisão bibliográfica e na estruturação da nossa tese.

- Aos colegas da Cadeira de Dentística Operatória, Dr. RAUL SARTINI FILHO, Dr. WILSON AMÂNCIO MARCHI e Instrutores JOSÉ DO CARMO BATTISTUZO e SIMONIDES CONSANI, pelo constante estímulo.

Aos senhores IVES ANTONIO CORAZZA, executor dos trabalhos de datilografia, e SEBASTIÃO RODRIGUES DE BARROS, encarregado dos trabalhos de impressão, e aos senhores NILDEMAR RUBENS MENDES e SIDNEY BARBOSA DE SOUZA, Técnicos de Laboratório,

apresentamos os nossos mais sinceros

Agradecimentos.

*

* *

Í N D I C E

	P.
1 - INTRODUÇÃO	8
2 - REVISTA DA BIBLIOGRAFIA.	12
3 - PROPOSIÇÃO	32
4 - MATERIAIS E INSTRUMENTAL	33
5 - APARELHAGEM.	34
5.1 - APARELHO DE ENSAIO	34
5.2 - APARELHAGEM COMPLEMENTAR	39
6 - MÉTODO	45
6.1 - PREPARO DA MATRIZ.	45
6.2 - PREPARO DO CORPO DE PROVA.	45
6.3 - TEORIA DO MÉTODO	48
6.4 - DESCRIÇÃO DO ENSAIO.	54
6.5 - CÁLCULOS	55
6.6 - TABELAS.	57
7 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	58
7.1 - CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO DO APARELHO.	58
7.2 - DISCUSSÃO DOS DADOS NUMÉRICOS.	60
8 - CONCLUSÕES	63
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

*

* *

1 - INTRODUÇÃO

A Odontologia, como as ciências aplicadas em geral, exige um conhecimento profundo e objetivo dos materiais empregados em seus trabalhos e pesquisas.

Ultrapassada que está, há muito, a fase meramente empírica do seu exercício, durante a qual predominava um tipo de apreciação subjetiva e não sistemática de cada detalhe; não mais se concebe que materiais possam ser normal e continuamente empregados, sem que sejam conhecidas a fundo suas propriedades físicas e químicas, propriedades essas que via de regra são as que basicamente decidirão da sua correta aplicabilidade a cada caso.

Tal conhecimento implica frequentemente, em especial no caso das propriedades físicas, na obtenção de dados de ordem quantitativa. Dessa forma, nesse setor de pesquisas sobre materiais, a Odontologia aproxima-se muito do setor análogo da Engenharia, aplicando cada vez mais os métodos de análise mecânica e até de análise estrutural desenvolvidos por aquela Ciência Aplicada, como bem o acentua BELMUDES (1), em 1966, e como também — se necessário fôsse — o comprovariam, implícita ou explicitamente, os trabalhos realizados por MILECK (9), em 1967, SARTINI (12), em 1967, para citarmos neste domínio mais geral apenas trabalhos realizados nesta Faculdade.

Quando procurávamos estudar mais detidamente problemas relacionados com o isolamento de cavidades a serem restauradas, verificamos, pela literatura

odontológica por nós compulsada, que pouco se tem escrito sôbre a condutibilidade térmica dos materiais isolantes e restauradores, temporários ou definitivos.

Certos autores como LIZANTI & ZANDER (8), em 1950, CRAIG & PEYTON (3), em 1961, PHILLIPS (10), em 1954, que se têm preocupado com êste assunto, mostraram no fim de suas experiências resultados com um certo grau de concordância entre sí.

Por outro lado, alguns dos métodos usados - por outros pesquisadores divergem profundamente dos anteriores, a ponto de não permitirem a comparação entre os diferentes resultados obtidos.

De início, procuramos analisar os métodos - descritos, em especial aquêles cuja discordância de resultados era menos sensível, com o objetivo de determinar as virtudes e eventualmente as falhas de cada processo.

Nessa análise, dois pormenores foram se salientando:

a - a sensível perda de calor no corpo de prova, que os aparelhos usados admitiam durante a fase das medições, e

b - a dificuldade, que tais aparelhos apresentavam, em medir a condutibilidade térmica de materiais em diferentes níveis de temperatura, sob diferenciais constantes de temperatura, de pequena amplitude e aproximadamente constante; tomada entre trechos "quentes" e "frios".

Realmente, pareceu-nos não terem os autores conseguido obter uma técnica perfeita no desenvolvimento do método, e isso naturalmente atua de forma ne

gativa sôbre a precisão das medidas, podendo mesmo explicar as discrepâncias verificadas.

Por outro lado, pareceu-nos de todo vantajoso tentar obter um aparelho que, sem maiores dificuldades, ensejasse medir a condutibilidade térmica sob várias temperaturas, proporcionando assim pronta resposta a perguntas de ordem prática tais como: "qual seria a situação de determinado material isolante quando da ingestão de alimentos gelados? E como se comportaria êle diante de alimentos muito quentes?" — e bem assim, permitisse fâcilmente o estabelecimento de curvas e eventualmente equações que relacionassem as duas variáveis agora postas em jôgo: condutibilidade térmica - temperatura.

Considerando tais fatos, cogitamos na construção de um novo aparelho — novo na sua adaptação ao âmbito da Odontologia, que apresentasse as duas características que visávamos: alto grau de isolamento do corpo de prova, evitando assim perda de calor, e fâcil operabilidade a várias temperaturas.

Para isso, tomamos por base um aparelho idealizado no Instituto de Tecnologia da Universidade de Minesota, e citado por KERSTEN (7), em 1949, aparelho êste destinado a medir a condutibilidade térmica de solos.

Contudo, devido às grandes dimensões dêste aparelho, no que concerne à sua peça principal, ou seja, aquela que irá receber o corpo de prova para as medidas, tivemos que reduzi-lo convenientemente, até um ponto em que pudesse ser, de modo prático, usado nas pesquisas do setor da tecnologia dos materiais o-

dentológicos. Optamos por tal tipo de aparelho porque, a nosso ver, êle apresentava uma solução para os dois problemas antes apontados.

*

* *

2 - REVISTA DA BIBLIOGRAFIA

Na bibliografia por nós compulsada, a primeira descrição que encontramos de um aparelho para ensaio especificamente no ramo da Odontologia, foi o de LIZANTI & ZANDER (8), em 1950. É bem verdade que estes autores citam, no decorrer do seu trabalho, dois resultados referentes à condutibilidade térmica do cimento de fosfato de zinco e da gutta-percha; contudo, não trazem qualquer referência, nem no texto nem na bibliografia, sobre o modo ou o aparelho pelo qual foram obtidos tais valores.

A importância do aparelho de LIZANTI & ZANDER (8), não pode ser subestimada. Ao que sabemos, pela primeira vez criou-se, na Odontologia, um método para medida da condutibilidade térmica de corpos de prova de exíguas dimensões, como têm que ser as amostras retiradas da dentina ou do esmalte humanos. Esses autores extraíram uma porção cilíndrica de dentina, por meio de uma broca tipo trépano, seccionando-a depois por meio de serras de joalheiro, obtendo discos de 6,3 mm de diâmetro e 1,5 mm de espessura.

Pela descrição do aparelho, depreende-se que não foi previsto um dispositivo que permitisse, com facilidade, fazer mudar a temperatura da água circulante, havendo apenas a possibilidade de aumentar ou diminuir a intensidade da fonte de calor.

Assim, LIZANTI & ZANDER (8) não usaram o método de medida por meio de diferenciais constantes de temperatura, em diferentes níveis térmicos médios escalonados. Empregaram, em vez disso, gradientes de

temperaturas variáveis, com diferenças de 40°, 70° e até 90°C.

LIZANTI & ZANDER (8) fizeram apenas medições em dentina humana, e pesquisadores posteriores a eles, introduzindo algumas modificações na aparelhagem, fizeram a medição da condutibilidade térmica de outros materiais.

Consistia o aparelho, usado por aqueles dois autores, de dois "terminais" ("Thermodes"), de cobre puro, de forma cilíndrica, do mesmo diâmetro da amostra, montados em dois retentores com pressão de mola, a fim de proporcionarem bom alinhamento e contacto com o material a ser medido. Um terminal serve para introduzir calor; outro, para retirá-lo.

Colocaram-se dois pares termo-elétricos de ferro-constantant em cada terminal, sendo um localizado na face que ficará em contacto com a amostra e o outro a distância de 1 cm dessa extremidade.

O "thermode" quente, ou terminal introdutor de calor ("Imput Thermode") foi aquecido elêtricamente, sendo a diferença de potencial mantida por meio de um estabilizador de voltagem. O calor passava do terminal quente para o exemplar, e através dêste para o terminal frio, de onde era dissipado por meio de um fluxo de água, que circulava em uma serpentina de resfriamento, enrolada em tórno dêste terminal. As diferentes temperaturas "sensibilizavam" os pares termo-elétricos, gerando correntes elétricas cujas intensidades podiam ser registradas em galvanômetros especiais e convertidas, de acôrdo com as características da aparelhagem empregada, em dados termométricos.

Este é, em síntese, o aparelho idealizado pelos autores, e que no decorrer dos anos, com pequenas modificações, veio proporcionar novas medidas de condutibilidade térmica, por parte de outros estudiosos. (Esquema página 15).

A nosso ver, a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica feita por este método é passível de erro, pois:

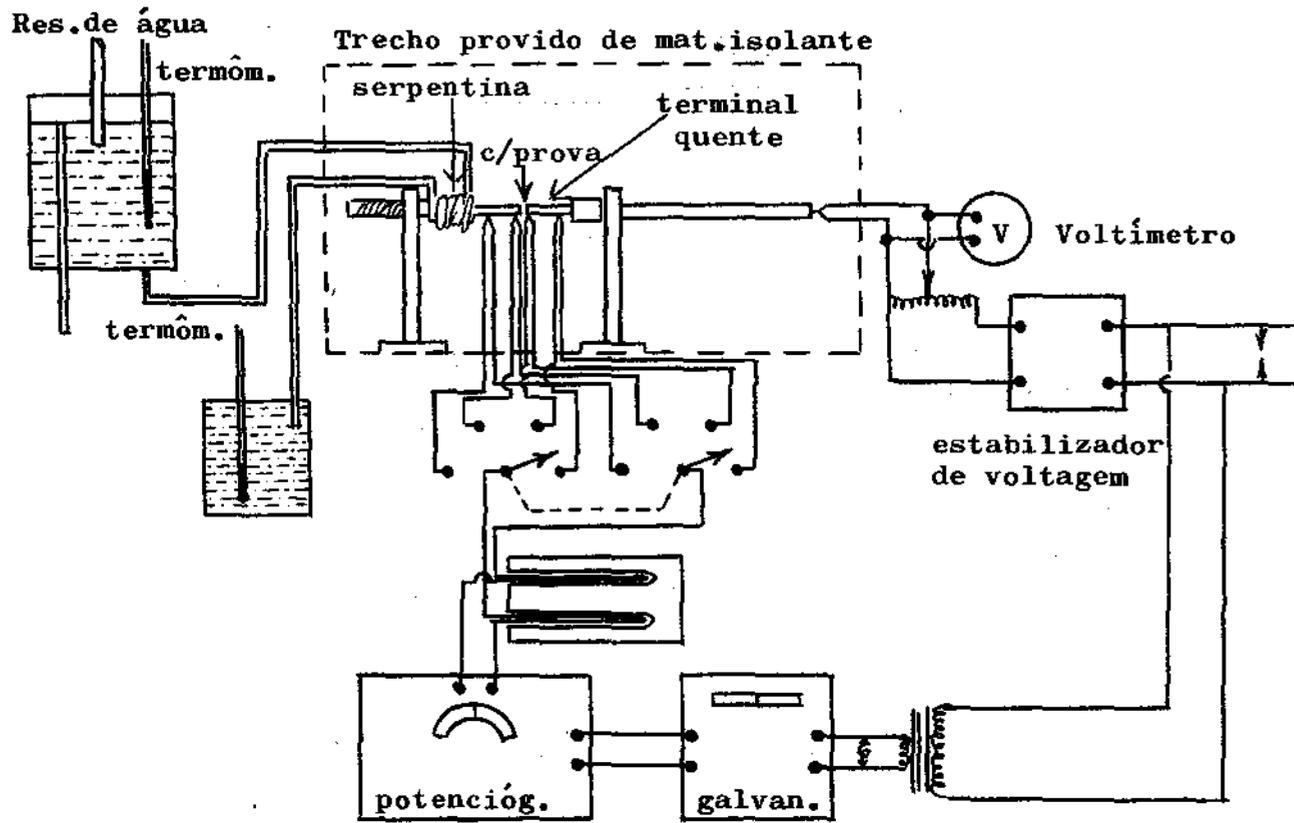
1º) a imperfeição do isolamento do corpo de prova, em toda a sua circunferência externa, admite uma perda de calor pela sua periferia, não permitindo que a medida da diferencial térmica se fizesse por meio de um gradiente uni-direcional;

2º) não podia haver modificação controlada da temperatura do terminal frio durante o ensaio;

3º) portanto, não havia possibilidade de se fazerem medidas sistemáticas sob diferenciais constantes, segundo uma série de temperaturas médias.

SIMERAL (13), em 1951, projetou e construiu um aparelho capaz de medir a condutibilidade térmica de materiais dentários, quando preparados sob forma de discos de 2 cm de diâmetro e de 1 a 3 mm de espessura. Com o concurso de dispositivos auxiliares, entretanto, consegue ensaiar amostras ainda menores, com diâmetro de 3 mm.

A parte essencial de seu aparelho é constituída de um "bloco quente" e um "bloco frio". A energia elétrica, que aciona a fonte de calor, provém de uma bateria de acumuladores com dispositivo para fazer variar a voltagem. O circuito elétrico possui um resistor padrão, miliamperímetro e uma grade de aque-



Esquema do aparelho descrito por LIZANTI & ZANDER

cimento. Esta é composta por uma bobina de "Nicrome", de fios enrolados em tórno de pequena peça retangular de mica, e é colocada numa cavidade do bloco quente.- Êsse bloco quente é um cilindro de 2 cm de diâmetro - por 5 cm de altura, feito de cobre eletrolítico de pu reza de 99%. A superfície superior dêsse bloco é pla- na e polida e fica em contacto com a amostra, que é mantida entre essa superfície e a superfície superior, também polida, do bloco frio.

Êsse bloco frio tem em tórno de sí uma ser- pentina de resfriamento, por onde circula água fria. O fluxo hidráulico tem sua vazão controlada, sendo a temperatura mantida por meio de um banho com termo-re gulador e agitador.

Ambos os blocos são montados em madeira de balsa. Em vez de serem usadas molas para promover me- lhor contacto entre suas faces e a amostra, empregam- se pesos (14 libras, aproximadamente 6,350 kg) na ba- se superior.

MÉTODO: A queda de potencial através do re- sistor é medida por intermédio de um potenciômetro.

A energia entregue à grade é dada pela ex- pressão $P_1 = E \times I$, onde

E = quedã de potencial em volts.

I = corrente, em ampéres.

A energia térmica transmitida pela amostra tende a aquecer o bloco frio, e é retirada pela água da serpentina, cujo aumento de temperatura é detecta- do por meio de pares termo-elétricos. Essa energia térmica carregada pela água é calculada pela fórmula:

$$P_0 = r.t \ 4,186, \text{ sendo}$$

t = aumento de temperatura da água

r = taxa do fluxo,

representando a constante 4,186 o calor específico da água, expresso em $\frac{\text{joules}}{\text{cc } ^\circ\text{C}}$.

De acôrdo com o autor, os gradientes de temperatura e as temperaturas médias das amostras podem variar independentemente, dentro de certos limites, e a precisão de suas medidas é da ordem de 2 a 3%. Para determinar a taxa de vazão do fluxo hidráulico, SIMERAL (13) mede o tempo necessário para a água que circulou na serpentina encher um certo balão volumétrico.

Quanto ao grave problema das perdas caloríficas, SIMERAL (13) tenta solucioná-lo da seguinte maneira:

a - colocando as partes essenciais do aparelho dentro de uma caixa de grandes dimensões, e envolvendo-as com um material termo-isolador — lã de vidro;

b - corrigindo os valores da energia térmica, que se calculam pela forma já referida, tendo em vista as perdas de calor.

Para a correção dessa fração energética perdida, o autor elabora um complexo procedimento prévio, que inclui:

a - confecção de amostras especiais, preparadas com a própria madeira de balsa;

b - interposição dessas amostras entre os dois blocos quente e frio, em lugar do corpo de prova;

c - fixação de pares termo-elétricos na montagem de madeira de balsa, bem como nas faces dos blocos;

d - acionamento do aparelho com potências e létricas determinadas;

e - circulação de determinada quantidade de água, prèviamente aquecida, pela serpentina do bloco frio; estando desligado o bloco quente, com registro das temperaturas da amostra do bloco frio e da água circulante;

f - cálculo do valor transmitido através da amostra de madeira de balsa, cujos valores de condutibilidade térmica são tomados como "aceitos", e, finalmente,

g - confecção de dois gráficos, em que as perdas de potência, medidas em watts, são tomadas como ordenadas, ao passo que as temperaturas do bloco quente e as do bloco frio são lançadas em abcissas, fornecendo assim as necessárias curvas de calibração do aparelho.

Anàlogamente, o autor procura compensar a queda de temperatura introduzida pelas camadas (filmes) de glicerina, que se colocam tanto entre o bloco quente e a amostra, como entre esta e o bloco frio. - Tal compensação é calculada em ensaios prèvios, por intermédio do emprêgo, em lugar da amostra, de um disco muito delgado de cobre, que é considerado como de "resistência térmica" desprezível. Dessa maneira, a queda de temperatura que ocorre é tōda atribuída a

presença dos "filmes" de glicerina.

Dessas experiências, extraem-se dados para o estabelecimento de uma terceira curva de calibração, em que as quedas de temperatura através do filme de glicerina são dadas em função da potência, em watts, entregue ao bloco quente.

Os ensaios pròpriamente ditos, depois que tudo isso foi realizado, são levados a cabo, com as amostras de material dentário, calculando-se a condutibilidade por meio da fórmula:

$$C = \frac{P \cdot T}{3,14 r^2 t}, \text{ sendo}$$

P = potência entregue ao aparelho, em watts, (porém convenientemente corrigida).

T = queda da temperatura, corrigida, através da amostra.

r = raio da amostra em centímetros.

t = espessura da amostra em centímetros.

C = condutibilidade térmica em $\frac{\text{watts-cm}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$

Talvez a complexidade do método engendrado por SIMERAL (13) seja responsável pela sua não divulgação nos meios técnicos odontológicos, a ponto de um só dos autores citados mencioná-lo — em que pesem seus inegáveis méritos científicos.

Os primeiros pesquisadores que se preocuparam com a condutibilidade térmica do cimento de fosfato de zinco foram, ao que sabemos, PHILLIPS e col. (10), em 1954.

Êsses autores, após examinarem vários pro-

cessos de medida da condução térmica, optaram pelo método usado por LIZANTI & ZANDER (8), método este - que, segundo PHILLIPS (10), era o único capaz de medir corretamente o calor que fluia através de um corpo de prova de fosfato de zinco, ou material análogo, de pequenas dimensões.

Dêsse modo, o aparelho então construído não difere basicamente daquele idealizado por LIZANTI & ZANDER (8), havendo modificações apenas no que diz respeito ao contacto dos pares termoelétricos com o corpo de prova.

Relatam os autores não terem conseguido um perfeito paralelismo entre as faces adjacentes da amostra e os terminais quente e frio do aparelho, o que ensejava a existência de pequenas porções de ar entre os elementos.

Tentando melhorar essas condições de contacto, ensaiaram interpor uma lâmina (filme) de diversos tipos de óleos, entre a amostra e os terminais, verificando, entretanto, que os resultados pouco variavam entre si.

Foi finalmente decidido inserir uma delgada camada de amálgama de prata entre a amostra e os terminais, para melhorar, dêste modo, o contacto entre eles. Entretanto, assegurado este bom contacto, outros problemas apareceram, tais como:

1 - as verdadeiras temperaturas das faces da amostra não foram medidas, pois os pares termo-elétricos estavam agora não em contacto com o material a ensaiar, mas com a camada de amálgama de prata;

2 - o comprimento do corpo de prova ficou

acrescido grandemente com a inclusão da liga metálica.

Visando superar tais dificuldades, PHILLIPS e col. (10) decidiram colocar dois pares termo-elétricos no interior do próprio corpo de prova, não relatando, entretanto, como terão solucionado os problemas práticos decorrentes deste procedimento, como a adequada fixação dos pares durante as operações necessárias à condensação do material a ser ensaiado, e também as possíveis dificuldades para a medida das distâncias entre os pares termo-elétricos inclusos no material.

Aos autores não passou despercebido o grave problema representado pelo isolamento térmico, relatando êles que foram feitas várias experiências prévias, com o emprêgo de diversos materiais isolantes, bem como experiências com amostras de diâmetros maiores, numa tentativa para evitar a perda de calor pelos lados da amostra.

Ao que podemos depreender, PHILLIPS e col. (10) não fizeram suas medidas segundo uma série de temperaturas diferentes, e, além disso, a diferencial térmica entre o par termo-elétrico "quente" e o "frio" tem um valor que se nos afigura alto: 78°C , diferença entre 98°C e 20°C .

PHILLIPS e col. (11) publicaram, em 1956, mais um trabalho, em que relatam os aperfeiçoamentos introduzidos no método para medida do coeficiente da condutibilidade térmica do cimento dentário, anteriormente descrito.

Segundo os autores, o método primitivo apresentava desvantagens, que consistiam em:

a - dificuldade na manutenção de uma temperatura constante na água que circula pela serpentina do terminal frio; e

b - dificuldades em medir acuradamente as diferenças de temperatura entre o par termo-elétrico colocado fora do corpo de prova e o par contíguo, situado dentro do corpo de prova.

Observando que esta diferencial de temperatura é da ordem de apenas 0,3 a 0,4^oF (que equivalem a 0,167 e 0,222^oC, respectivamente), os autores acentuam que tais diferenciais têm efeito muito grande sôbre os cálculos de Kt, e, portanto, que pequenos erros na leitura da força eletromotriz produziram erros significativos no valor final de Kt.

Num esforço para aumentar essa diferencial, várias modificações foram tentadas, quais sejam, a alteração do tipo de isolamento, o emprêgo de água gela da para maior resfriamento de terminal frio, o aumento da temperatura do terminal quente, sem que fôsse entretanto alcançado resultado prático no aumento daquela diferencial.

Viram-se, então, na contingência de empregar um método diferente para calcular Kt, método êsse que eliminasse o uso das medições de temperatura nos pares termo-elétricos colocados nos terminais.

Para isso, êles calcularam a energia calorífica desenvolvida no terminal quente, por meio das medidias da voltagem e amperagem empregadas no elemento termogênico.

A fórmula que dará o coeficiente de condutilidade térmica Kt será:

$$Kt = \frac{Q \text{ (watts).m}}{4.183(\Delta t).a}$$

Kt = coeficiente de condutibilidade térmica

m = distância entre os pares termo-elétricos colocados dentro do corpo de prova,

Δt = diferencial de temperatura entre os pares termo-elétricos colocados dentro do corpo de prova,

a = secção transversal do corpo de prova, em cm^2 .

Sem embargo, restava ainda um problema de muito difícil solução, no aparelho adotado por êsses autores. É o referente à perda de calor, que se verifica apesar de todo o material isolante empregado.

A questão, dizem os autores, ainda mais se agrava pelo fato de que essa perda de calor não é constante, mas varia com a intensidade calorífica entregue pelo terminal quente. Para contornar êsse problema, PHILLIPS e col. (11) sugerem um artifício engenhoso, e que se resume no seguinte:

— Considerando que os materiais a serem ensaiados pertencem todos ao tipo "isolante", isto é, materiais de baixa condutibilidade térmica, os autores fazem ensaios preliminares com um material cuja condutibilidade já é bem conhecida: o plexiglass, e comparam os dados fornecidos pelos ensaios assim feitos no aparelho proposto, com os dados pré-existentes. Efetuando ensaios sob diversos níveis de energia calorífica, isto é, sob variadas temperaturas, os autores

determinam uma curva que relaciona as duas séries de dados, e atribuem as discrepâncias entre essas duas séries à perda calorífica que seu aparelho admite.

Estando já estabelecida tal curva, poderá então ser facilmente determinado o coeficiente de correção, que levará em conta justamente essa perda de energia calorífica, em diversas temperaturas. Dessa maneira, todos os materiais dentários ensaiados nesse aparelho terão os resultados de seus ensaios de condutibilidade térmica corrigidos por meio de um fator de correção determinado para o plexiglass.

Com o emprêgo do referido método, PHILLIPS e col. (11) acharam um valor Kt igual a 0,000311, ou seja $3,11 \times 10^{-4} \text{ cal. seg.}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ (}^\circ\text{C/cm)}^{-1}$, para o cimento de fosfato de zinco sêco, e 0,000388, ou seja, $3,88 \times 10^{-4} \text{ cal. seg.}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ (}^\circ\text{C/cm)}^{-1}$, para o mesmo material quando úmido.

CRAIG & PEYTON (3), em 1961, publicaram um trabalho em que, depois de breves considerações à respeito da deficiência geral de dados sôbre a condutibilidade térmica dos materiais usados em Odontologia, e bem como a respeito da discrepância observada nos resultados dos trabalhos anteriores, propõe uma nova modificação no processo de LIZANTI & ZANDER (8).

Não adotam êsses autores o sistema proposto no segundo trabalho de PHILLIPS e col. (11), qual seja, a colocação dos pares termo-elétricos dentro do próprio material a ensaiar, embora tivessem também trabalhado com materiais para forramentos e restaurações.

A principal característica do seu aparelho

é a colocação de uma série de pares termo- elétricos nos terminais quente e frio. Êsses terminais possuem 6,5 cm de comprimento e 5,94 cm de diâmetro, e neles foram feitas cavidades, distantes 1 cm uma das outras, nas quais são aplicadas os pares termo-elétricos. Os autores não indicam a profundidade dessas cavidades.

Ambos os cilindros tem uma extremidade plana, que ficará em contacto com o corpo de prova; a outra extremidade é provida de rôtscas, e aparafusada, cada uma, aos suportes quente e frio, respectivamente.

Durante a operação de medida, cada par termo-elétrico fornece um dado correspondente ao ponto de sua localização. Com êstes dados, foi elaborado um gráfico, relacionando pontos e temperaturas, determinando-se, assim, a curva de variação correspondente; as temperaturas dos extremos dos cilindros são determinadas simplesmente por meio de extrapolação.

Os autores procuraram assegurar o isolamento térmico do corpo de prova, encerrando a parte essencial do aparelho, a que contém os terminais térmicos e o próprio corpo, dentro de uma caixa de madeira compensada, forrada internamente na sua porção inferior por lâ de vidro, e superiormente por espuma de poliestireno.

Entre o terminal do aparelho e o corpo de prova, os autores dispõem uma pequena porção de glicerina ("filme").

Revelam-se os pesquisadores explícitos em relação às proporções com que manuseiam os materiais, relevando mencionar que preparam o corpo de prova de

fosfato de zinco, segundo duas proporções diferentes de materiais, uma correspondente ao cimento para fixação de incrustações, e outra para uso em base de restaurações, normalmente condensados na cavidade dentária.

Essa mudança de proporções nos componentes determina uma pequena variação na condutibilidade térmica do material, sendo melhor condutor aquêle preparado com maior proporção de pó.

Quanto aos resultados obtidos, CRAIG & PEYTON (3) focalizam a relativa concordância de grandezas com os valores anteriormente determinados por PHILLIPS e col. (10), ressaltando entretanto a discrepância em relação aos valores dados pelo segundo trabalho de PHILLIPS e col. (11).

Cumpre notar, finalmente, que CRAIG & PEYTON (3) ensaiaram todos os seus corpos de prova depois de armazenamento em água destilada, porém com tempos de hidratação variáveis de 1 a 7 dias.

SOYENKOF & OKUM (14), em 1958, apresentam também um interessante trabalho sobre condutibilidade térmica aplicada ao ramo da Odontologia.

Eles usam, ao invés de pares termo-elétricos, um dispositivo chamado "thermistors", que são resistores sensíveis à mudança de temperatura, compostos de uma pequena cabeça oblonga, de cerca de 0,4 mm de diâmetro, com dois fios condutores de 0,1 mm de diâmetro. Esses "thermistors" estão conectados a uma ponte de "Wheatstone", sendo a corrente elétrica proveniente de uma pilha seca. Os autores ensaiam pequenas porções de dentina ou de esmalte, cortados de

dentes molares com discos de diamante e com acabamento feito a mão, até que sejam obtidas amostras discóides, com 4 mm de diâmetro e de 0,6 a 1 mm de espessura.

As amostras são colocadas entre blocos - frios e quentes, e são dispostos em lugares convenientes os "thermistors", que, com a variação de temperatura, terão suas resistências alteradas, determinando assim variação da corrente elétrica, detectável pelo galvanômetro e pelo amperímetro da ponte de "Wheatstone".

No trabalho mencionado, discutem os autores a eficiência de dois processos diferentes, baseado no mesmo método que engendraram. Sem embargo, dispensamos de apresentar maiores detalhes sobre o método e aparelhagem, desde que estes autores não fazem nenhum experimento com cimento de fosfato de zinco.

Em 1964, HOLLEMBACK & SULLIVAN (6) publicaram interessante trabalho, em que apresentam um novo método de ensaio de condutibilidade térmica para materiais dentários. Tal método difere essencialmente de outros já aqui mencionados, e consiste, em seu delineamento geral, no seguinte:

— por meio de uma matriz especialmente projetada, são preparados corpos de prova do material a ser ensaiado, com formato de um cilindro, de 9,5 mm de altura por 9,5 mm de diâmetro externo, parcialmente vazado em sua parte central, segundo o eixo longitudinal, até a metade da sua altura. Na base (fundo) dessa cavidade é colocado um par termo-elétrico.

Em seguida, êles tomam um tubo de borracha de 2 pol (5,1 cm) de comprimento, e ajustam-no à parte superior do corpo de prova, obturando hermêticamente a linha de junção entre êles e o tubo, por meio de um cordão de cera pegajosa. Dessa forma, o cilindro de prova poderá ser mergulhado em água, até uma profundidade superior à sua altura, sem que êsse líquido penetre na cavidade. Como dissemos, o par termo-elétrico tem sua parte ativa situada no fundo da cavidade e seus fios saem do corpo de prova por dentro do tubo de borracha, pela parte superior, e são ligados a um pirômetro.

Prepararam os autores, além disso, dois "banhos" de água destilada, em duas cubas de vidro idênticas, cada uma provida de um termômetro de mostrador e aquecida por meio de aparelhagem elétrica, possuindo um termostato capaz de controlar acuradamente a temperatura do líquido.

Um dos banhos é considerado "frio", com a temperatura mantida por meio do seu termostato a 80°F (cêrca de 26,6°C); o outro banho é mantido à temperatura de 126°F (aproximadamente 52,2°C).

O corpo de prova, já convenientemente protegido pelo tubo de borracha, é introduzido no banho frio e aí mantido até que adquira a temperatura fixa da água, isto é, 80°F. Então é transferido rapidamente para o banho quente, e aí mantido até que a temperatura indicada pelo par termo-elétrico do seu interior atinja exatamente 100°F (cêrca de 37,8°C). O intervalo de tempo decorrido entre o momento da mudança do corpo do banho frio para o quente e o momento em

que o par termo-elétrico acusa 100°F é rigorosamente cronometrado. É justamente nesse lapso de tempo que consiste a medida da condutibilidade térmica do processo de HOLLEMBACK & SULLIVAN (6).

Os autores apresentam os resultados referentes às amostras preparadas com cimento de fosfato de zinco, segundo os quais êsses corpos de prova levaram uma média de 30 segundos para o par termo-elétrico indicar 100°F .

Infelizmente, o método concebido por êsses autores, sem dúvida engenhoso, sofre de uma grave deficiência: seus resultados não podem ser numéricamente comparados com os resultados originados de quaisquer outros trabalhos, por fornecer seus dados simplesmente na unidade "segundos de tempo". É um método, por assim dizer, fechado, sôbre si mesmo; só admite comparações dentro do próprio método. Para todos nós que buscamos resultados com a unidade habitual da física para a condutibilidade térmica, isto é, resultados expressos em $\text{cal/cm.seg.}^{\circ}\text{C}$, os dados fornecidos por HOLLEMBACK & SULLIVAN (6) não nos oferecem base quantitativa para comparação, a menos, talvez, que se procedessem a extensos trabalhos de pesquisas estatísticas de correlação.

Para terminar esta revisão bibliográfica, cabe fazer referência a dois trabalhos que, embora não tratando diretamente do problema da medição da condutibilidade térmica dos materiais isolantes usados em Odontologia, têm com essas questões relação de certa forma estreita.

Ambos tratam da medida da difusibilidade

térmica daqueles materiais.

BRADEN (2), em 1964, publicou um trabalho - em que, depois de considerações físico-matemáticas extremamente complexas, determinava com aparelhagem relativamente simples a difusibilidade térmica ("thermal diffusivity") de diversos materiais empregados em Odontologia. Apresentava, em seguida, uma relação de valores de condutibilidade e difusibilidade térmicas referentes a vários materiais, focalizando as diferenças de ordem encontradas entre as duas séries de valores e acrescentando que, para um estudo físico dos isoladores dentários, a difusibilidade traduz mais fielmente o fenômeno em foco do que a condutibilidade.

Cumprir notar, aliás, que nessa publicação não ficou claro onde o autor encontrou os dados relativos à condutibilidade térmica do cimento de óxido de zinco-eugenol, que são os valores cruciais, no caso, para a discussão do problema.

VOTH e col. (15), em trabalho publicado em 1966, trabalho êste parcialmente baseado nas pesquisas de BRADEN (2), estudam a efetividade isoladora de diferentes bases isolantes, segundo a natureza e a espessura do material em relação à difusibilidade térmica de restaurações metálicas.

Seus resultados confirmam a ordem da efetividade isoladora dos diversos materiais apresentados por BRADEN (2)

Estas últimas pesquisas abrem um campo de discussão extremamente interessante em torno da aplicação de duas diferentes propriedades físicas, condutibilidade e difusibilidade térmica dos materiais ise

ladores, à pesquisa odontológica — o que entretanto transcende aos objetivos do presente trabalho.

Não seria demais, todavia, observar que já foi estabelecida uma relação matemática entre as duas propriedades.

*
* * *

3 - PROPOSIÇÃO

Tendo em vista as considerações que apresentamos sôbre métodos e aparelhos para a determinação - da condutibilidade térmica dos materiais isolantes usa dos em Odontologia, propomo-nos a:

1 - projetar e construir um aparelho que - proporcione a medição dessa propriedade física, em condições de perdas caloríficas praticamente nulas, e sob uma gama de temperaturas convenientemente escalonadas, com uma amplitude total de cêrca de 50°C;

2 - determinar a condutibilidade térmica do cimento de fosfato de zinco, preparado de acôrdo com a proporção de material indicada pelo ensaio de consistência, e segundo diferentes graus de temperatura média, e

3 - como observação complementar, verificar se o aumento de 30% na proporção de pó empregado na confecção dos corpos de prova produz variação significativa da condutibilidade térmica do material.

*

* *

4 - MATERIAIS E INSTRUMENTAL

- 1 - Cimento de fosfato de zinco S.S.White, de fabricação nacional;
— pó nº 1, amarelo claro.
— líquido para o cimento, tipo C médio.
- 2 - Placa de vidro.
- 3 - Espátula para cimento, nº 24, S.S.White.
- 4 - Condensador Holleback, nº 2.
- 5 - Espátula Lecron.
- 6 - Grampo de haste rosqueada nº 2 1/2.
- 7 - Fôlha (laminada) de alumínio, de espessura de 0,017 mm.
- 8 - Fita isolante especial, capaz de suportar até 150°C de temperatura, de marca "Scotch".
- 9 - Algodão hidrófilo "Johnson".
- 10 - Vaselina sólida.
- 11 - Cola Tenax.
- 12 - Fita adesiva de papel.
- 13 - Placas de isopor.

*

* *

5 - APARELHAGEM

Na aparelhagem empregada em nosso trabalho, distinguiremos, para efeito de descrição, o aparelho pròpriamente dito de ensaio, por nós construído, da aparelhagem complementar, não menos complexa, mas de uso corrente em experimentos dêsse gênero.

5.1 - APARELHO DE ENSAIO

Como foi dito anteriormente, o aparelho que construímos é uma variante do aparelho concebido na Universidade de Minesota, para medir condutibilidade térmica de solos, e reproduzido nos Laboratórios da Cadeira de Física da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo.

Para adaptá-lo às pesquisas no ramo da Odontologia, tivemos que nêle introduzir modificações, reduzindo as dimensões do aparelho primitivo (vide esquema tamanho natural, página 40 e FIG. 1).

Isto acarretou alguns problemas, como a confecção de resistores de pequenas dimensões, problema afinal solucionado com a intervenção de uma firma especializada na construção de aparelhos eletrônicos, que nos fabricou três resistores de forma helicoidal (hélice cilíndrica), de altura igual a 1,2 cm e diâmetro de 0,6 cm, e com resistência de 30 Ohms, valor êste conferido em nossos laboratórios, com o auxílio de um ohmímetro (ou omiômetro) do tipo "MEGGER".

Consiste basicamente o aparelho de ensaio em três cilindros de cobre, de 38,1, 25,4 e 9,5 mm.,

respectivamente (isto é: 1 1/2, 1 e 3/8 de pol. de diâmetro, respectivamente), e 6 cm de altura para cada um dos três cilindros.

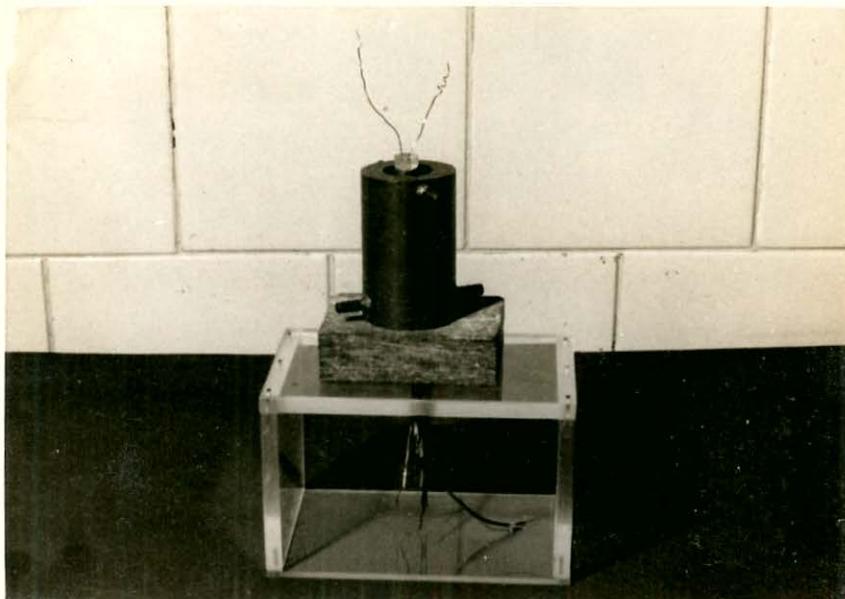


FIG. 1

Aparelho de ensaio

Os dois primeiros cilindros citados, de 38,1 e 25,4 mm de diâmetro, respectivamente, (ver esquema; n^{os} 6 e 12), estão coaxialmente dispostos, e unidos entre si, em suas extremidades, por meio de duas peças de cobre com forma de corôa circular ("anéis") de 0,3 cm de largura. Dessa forma unidos, os dois cilindros passam a constituir uma só peça, delimitando uma câmara, situada entre a parede interna do cilindro maior, a parede externa do cilindro menor, o

anel superior e o inferior, por onde circulará água a uma temperatura determinada. Chama-la-emos de "câmara periférica de água" (esquema; nº 13).

Nas partes superior e inferior dessa câmara, depois de convenientemente perfuradas, foram colocados externamente quatro tubos também de cobre, de 0,3 mm de diâmetro interno, dispostos horizontalmente, sendo dois na parte superior, saindo de pontos diametralmente opostos, e dois na inferior, também opostos, e situados em ângulo reto em relação aos primeiros. - (esquema; nº 2). Tais tubos irão funcionar para entrada e saída da água circulante na câmara periférica.

O terceiro cilindro (esquema; nº 3), também ôco, de 9,51 mm de diâmetro, é colocado no centro do conjunto acima descrito, e por intermédio de uma peça de Lucite (esquema; nº 5), é fixado a uma base prismática de cimento de amianto (esquema; nº 9), que para isso sofreu um aprofundamento circular, de 0,5 cm de profundidade, para o devido encaixe.

Este "cilindro central", entretanto, não é inteiriço, mas interrompido, no seu primeiro e no segundo terços, por discos de Lucite (esquema; nº 5), - também de 9,5 mm de diâmetro, e 0,21 cm de altura, ficando portanto dividido em três pequenas câmaras, a superior, a média ou central e a inferior, nas quais se colocam os três pequenos resistores acima mencionados (esquema; nº 4). Dessa forma, tais resistores ficarão isolados entre si pelos dois discos de Lucite.

O isolamento entre cada resistor e a parede de cobre da pequena câmara cilíndrica que o contém, é efetuado por meio de fita isolante especial, de marca

Scotch (esquema; nº 7).

Os terminais do resistor superior (esquema; nº 1) saem pela parte de cima do aparelho e são ligados a uma bateria "Autolite" de 12 volts, pela maneira que será descrita adiante.

O resistor situado na câmara central do cilindro (esquema; nº 4) teve os prolongamentos dos seus terminais cuidadosamente isolados, também por meio de fita especial. Dessa maneira, passam êsses fios, através do disco de Lucite, para a pequena câmara inferior, dirigindo-se para a base por dentro do terceiro resistor helicoidal (esquema; nº 4). Atravessam em seguida o disco de Lucite inferior, a base do cimento amianto, o suporte de Lucite, e dirigem-se para a bateria Autolite, passando porém pelos medidores de amperagem e voltagem. O terceiro resistor, o da pequena câmara inferior, é ligado à bateria diretamente, da mesma forma que o primeiro, situado superiormente.

As medidas da condução térmica do corpo de prova serão feitas tão somente em trechos correspondentes à pequena câmara central. A função dos dois resistores extremos, superior e inferior, será apenas de "defesa térmica", isto é, de isolar termicamente o trecho central do ambiente externo, evitando assim as perdas de calor em direções não desejadas.

É evidente que entre o cilindro central (o que encerra os resistores, com 9,5 mm de diâmetro) e o cilindro que forma a parede interna da câmara periférica de água (com seu diâmetro de 25,3 mm) ficará um espaço livre (esquema; nº 11). É nesse espaço que

será colocado o corpo de prova do material a ser ensaiado, corpo que terá então a forma de um tubo cilíndrico (cilindro vazado), de paredes com a espessura - de 0,5 cm e a altura de 6 cm.

Dêsse modo temos, em resumo, do eixo central para o exterior, os seguintes componentes: resistores helicoidais; isolamento de fita; cilindro de cobre de diâmetro de 9,5 mm; corpo de prova do material a ser ensaiado; parede interna da câmara periférica; câmara para a circulação de água e, finalmente a parede externa dessa câmara.

Resta agora tratar do número e posição dos pares termo-elétricos de cobre-constantan, empregados para caracterizar os fenômenos de condução térmica que objetivamos (esquema; nº 8). Foram usados quatro pares, sendo dois colocados na parede do cilindro central que envolve o resistor, de modo a ficar em contacto com a parede interna do corpo de prova, e os outros dois na parede interna da câmara de água periférica, também em contacto com o corpo de prova, pela superfície externa dêste.

Como dissemos anteriormente, o cilindro central (esquema; nº 3) que envolve os resistores está dividido em três câmaras, separadas pelos discos de Lucite; dessas, apenas o trecho central é que recebe os pares termo-elétricos, colocados em geratrizes vizinhas, em dois pontos situados abaixo e acima da secção central, numa distância dêste centro igual a $1/6$ de altura da câmara central — o que corresponde a dividir essa altura em três partes e colocar cada par no primeiro e no segundo t^{er}ço, em geratrizes pró

ximos, como salientamos.

Os dois pares termo-elétricos periféricos, colocados na parede interna da câmara de água, ficam em posição correspondente aos anteriores. Para que os pares termo-elétricos não ficassem em alto relêvo nas paredes do cilindro, foram, com o auxílio de plainas, abertas canaletas nessas paredes, onde se embutiram os ditos pares.

5.2 - APARELHAGEM COMPLEMENTAR

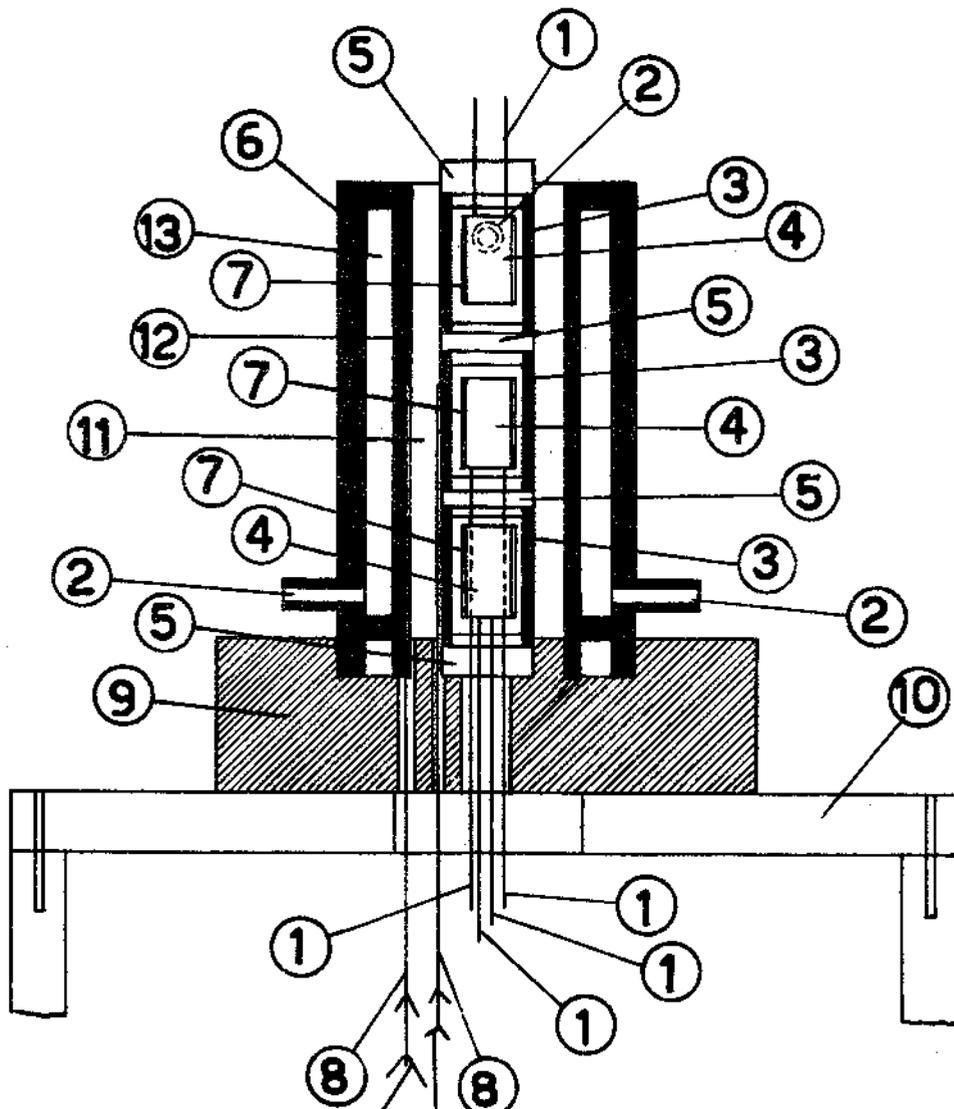
5.2.1 - Reservatório de água

Os quatro tubos de entrada e saída da câmara periférica de água, a que nos referimos na página 36, são ligados por meio de tubos de polietileno flexíveis a um reservatório de água.



FIG. 2

Compressor e Reservatório de água



1	TERMINAIS DOS RESISTORES
2	TUBOS DE COBRE (sist. hidraul.)
3	ANEIS DE COBRE DO CIL. CENTRAL
4	RESISTORES
5	PEÇAS DE LUCITE
6	PAREDE EXT. DA CÂM. PERIFÉRICA
7	ISOLANTES DOS RESISTORES
8	PARES TERMO-ELÉTRICOS
9	BASE DE CIMENTO AMIANTO
10	SUORTE DE LUCITE
11	ESPAÇO VAZIO PARA O C.P.
12	PAREDE INT. DA CÂM. PERIFÉRICA
13	CÂMARA PERIFÉRICA DE ÁGUA

CORTE
LONGITUDINAL
DO APARELHO
DE ENSAIO

Este é constituído por um tambor metálico, com capacidade total superior a 1.000 litros, isolado na sua superfície lateral por meio de placas de "isopor" justapostas e presas com fita adesiva.

O fundo do reservatório repousa sobre uma base também de isopor, sendo que outra placa do mesmo material é colocada sobre o recipiente, cobrindo-o.

Dentro do tambor são fixados:

a - um refrigerador, preparado nos laboratórios da Cadeira de Física da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", o qual está ligado a um compressor Mills Industries Incorporated, tipo S.M. - 224 de 1 HP, colocado fora do recipiente;

b - um aquecedor de 2.500 W;

c - um relê termométrico tipo IT-10, que é ligado a um termômetro de refrigeração com precisão de décimo de grau, e cuja função será manter a água do tambor a uma temperatura constante;

d - bomba d'água Astem tipo B.P. 2.

5.2.2 - Chave eletromagnética Eletromar, modelo IT-1003, cuja função é controlar o refrigerador.

5.2.3 - Reostato do gerador, fabricado nos laboratórios da Cadeira de Física da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

5.2.4 - Potenciômetro Cambridge, com fundo de escala de 0 a 5 milivolts e precisão de 0,001 milivolts.

5.2.5 - Potenciômetro Phillips, com escala de 0 a 5 milivolts, de canal único.

5.2.6 - Quadro de comando do aquecedor, com amperímetro Siemens, com precisão de 0,001 amp., e voltímetro Siemens, com precisão de 0,1 volt.

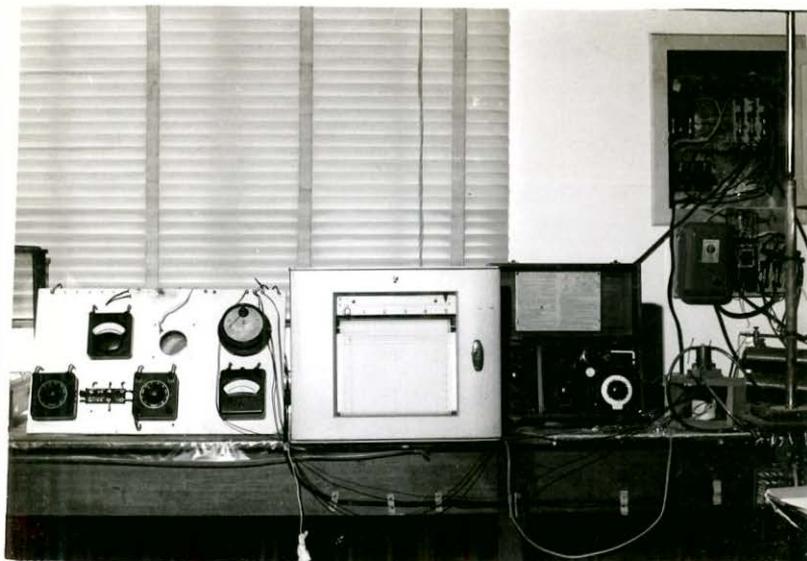


FIG. 3

Potenciômetro, Potenciômetro, Reostato, Quadro de comando e Aparelho de ensaio.

5.2.7 - Bateria Autolite de 12 volts, com 6 células — foram usadas apenas duas células, ligadas em série, o que fornece uma força eletromotriz de 4 volts.

5.2.8 - Balança elétrica METTLER, tipo H-15 com sensibilidade de 0,001 g.

5.2.9 - Matriz

Para a confecção do corpo de prova, usamos um tipo de matriz por nós idealizado (FIG. 4).

Compõe-se basicamente de um cilindro vazado (tubo) com diâmetro interno de 1,95 cm e espessura de parede de 0,9 mm, permeado por uma peça cilíndrica - central.

Para a sua confecção, tomamos um cilindro de latão, maciço, de 6 cm de altura e 3,5 cm de diâmetro, e operamos da seguinte maneira:

— Segundo duas cordas paralelas e do mesmo comprimento (perpendiculares portanto a um mesmo diâmetro e situadas a iguais distâncias do eixo do cilindro), tomadas na base superior do cilindro, cortamos o mesmo segundo dois planos verticais, rejeitando as porções externas seccionadas. A seguir, seccionamos pelo centro o cilindro, segundo um plano diametral e paralelo aos dois planos anteriormente tomados. Ficamos assim com dois hemicilindros facetados. (O facetamento tem por objetivo proporcionar melhor apoio).

Na face diametral de cada hemicilindro, abrimos uma canaleta semicircular, com diâmetro de 1,95 cm e dirigida no sentido longitudinal do hemicilindro.

Na espessura da parede de uma dessas peças, mandamos realizar duas perfurações, de secção circular, de 0,4 cm de diâmetro, como mostra a FIG. 4. Na outra peça colocamos pinos de orientação em locais - correspondentes aos citados furos, de modo que ficasse assegurado um encaixe tipo macho-fêmea, quando de-

sejássemos reunir as duas peças.

Como parte interna da fôrma, usamos um tubo de cobre de 9,5 mm de diâmetro externo, o qual irá proporcionar a forma "vazada" do corpo de prova. Esse tubo tem de ser disposto de maneira rigorosamente axial com o cilindro formado pela união dos dois hemi-cilindros facetados já descritos, de modo a poder delimitar, futuramente, um corpo de prova (cilindro vazado) com 0,495 cm de espessura de parede.

Para assegurar a exata posição do tubo central, êle é então preso por uma extremidade a uma base de Lucite, recortada exatamente segundo a forma e dimensões da secção reta do cilindro externo, e da mesma maneira facetada. A outra extremidade do tubo central, quando colocado em posição, ultrapassa de cêrca de 3,5 cm o comprimento do cilindro exterior, e por esta parte saliente do tubo pode correr uma outra peça de Lucite, recortada de forma exatamente igual à primeira, de maneira a promover, do seu lado, o necessário ajustamento do tubo central.

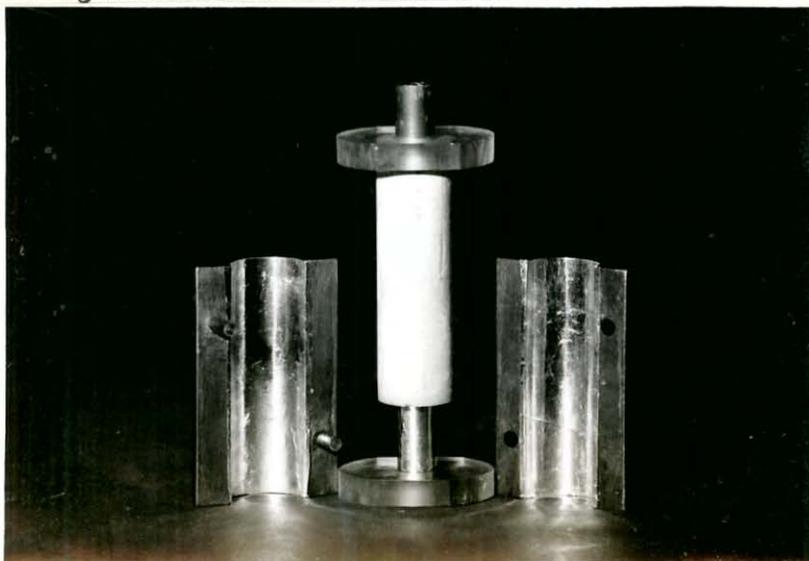


FIG. 4 - MATRIZ E CORPO DE PROVA

6 - MÉTODO

6.1 - PREPARO DA MATRIZ

Nas primeiras tentativas de confecção do corpo de prova, praticamos a untura, com vaselina, das partes da fôrma que entrariam em contacto com o cimento de fosfato de zinco.

Verificada entretanto a ineficiência de tal prática, decidimos recobrir tôdas aquelas partes com uma lâmina de alumínio de 0,017 mm de espessura, o que assegurou perfeitas condições de retirada do corpo de prova depois da presa realizada (FIG. 4).

Tal adaptação foi praticada com o auxílio de cola, e ulterior alisamento de tôda a superfície com chumaço de algodão.

Assim, êsse isolamento passou a constituir sistemáticamente uma fase preparatória da confecção do corpo de prova.

6.2 - PREPARO DO CORPO DE PROVA

Os materiais foram manuseados e os corpos de prova confeccionados em laboratório, sob temperatura de cêrca de 21°C, umidade relativa do ar em tôrno de 58%, com placa de vidro em tôrno de 21°C.

Como foi dito na relação de materiais, empregou-se o cimento de fosfato de zinco S.S.W., número 1, amarelo claro e o líquido tipo C médio, ambos de fabricação nacional.

Para determinar a proporção pó/líquido, de

acôrdo com a especificação nº 4 do GRUPO BRASILEIRO - DE MATERIAIS DENTÁRIOS (5), procedeu-se prèviamente - ao ensaio de consistência, encontrando-se a relação de 1,0 g de pó para 0,5 cm³ de líquido.

O preenchimento da matriz foi feito em duas fases. Na primeira etapa, colocamos o material, já convenientemente espatulado, num dos hemicilindros e fechamos lateralmente a matriz por intermédio das duas peças de Lucite que suportam o tubo central; em seguida, procedemos à remoção do excesso de material e ao mesmo tempo uma ligeira compactação por meio de calcadores tipo Hollembach.

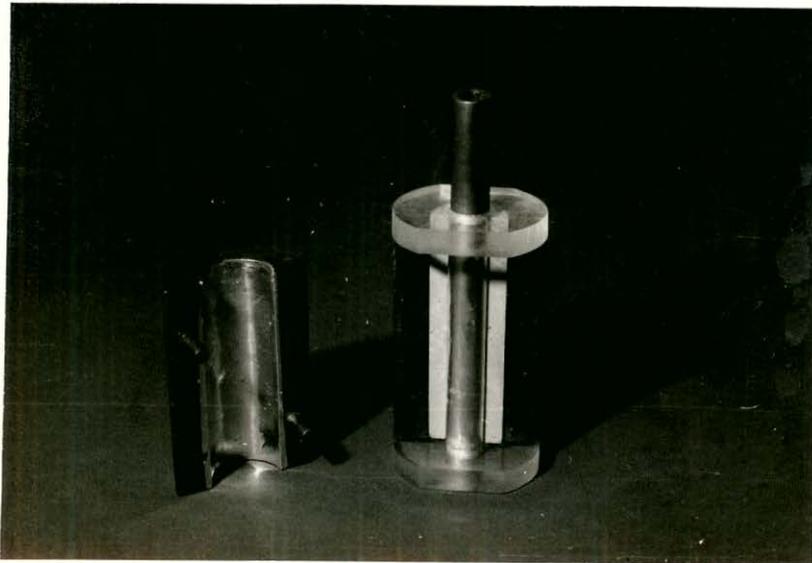


FIG. 5

Primeira fase do preenchimento da
matriz

Para essa primeira fase, foram usadas 20 g de pó e 10 cm³ de líquido, sendo o pó pesado em balança analítica e o líquido medido por meio de seringa de injeção hipodérmica (tipo Luer para tuberculina).

Na segunda etapa, espatulamos idêntica quantidade de material e preenchemos o outro hemecilindro (ou contramatriz). Em seguida, afastamos a peça móvel lateral, de Lucite, e promovemos a junção dos dois hemecilindros, tendo-se verificado saída pequena de material pela parte livre da matriz. Após a remoção desse excesso por meio de uma espátula Lecron, seguida de uma ligeira compactação, fêz-se a peça de Lucite voltar a sua posição normal.

A seguir, ajustamos o grampo de pressão sobre os dois hemecilindros, pelas suas partes facetadas, ficando a fôrma pressionada durante cêrca de quinze minutos.

Depois, o corpo de prova era retirado da matriz e armazenado durante vinte e quatro horas, em temperatura ambiente (FIG. 4).

Usando essa proporção de materiais, foram confeccionados três corpos de prova.

Entretanto, com o objetivo de verificar se uma maior proporção de pó determinaria sensível variação no coeficiente de condutibilidade térmica do cimento, resolveu-se confeccionar outros corpos de prova, aumentando-se de 30% a quantidade de pó empregado. Dessa maneira, usando-se exatamente o mesmo processo, obteve-se uma segunda série de três corpos, segundo a proporção 1,3 g de pó para 0,5 cm³ de líquido.

6.3 - TEORIA DO MÉTODO

Os fundamentos teóricos do método empregado estão bem explanados por ZEMANSKY (16), que apresenta a lei fundamental que rege a condução de calor, sob forma de uma relação matemática:

$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{d\theta}{dx}, \text{ onde:}$$

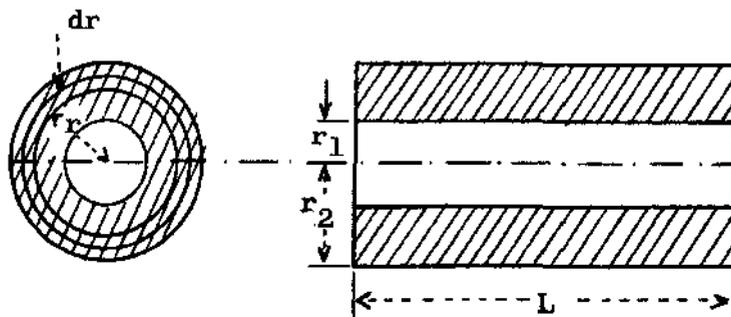
$\frac{dQ}{dt}$ = Taxa instantânea (num dado instante) do fluxo calorífico. O fluxo Q pode ser expresso em calorias e t em segundos.

K = Coeficiente de condutibilidade térmica.

A = Área do corpo, normal à direção do fluxo de calor.

$\frac{d\theta}{dx}$ exprime o gradiente de temperatura. A diferencial $d\theta$ representa a diferença de temperatura entre dois pontos (infinitamente próximos) e dx a distância (infinitamente pequena) entre êsses dois pontos.

Frisa ZEMANSKY (17) que a solução dessa equação implica, em geral, no uso de funções e de séries algébricas muito complexas, que exigem alto conhecimento das ciências matemáticas. Entretanto, salienta a existência de alguns casos particulares, que podem ser tratados de maneira mais simples. Entre êstes casos, figura justamente aquêle que nos interessa: o do fluxo radial de calor entre dois cilindros coaxiais.



Secção Transversal Secção Longitudinal
 FIG. 6 - Fluxo radial de calor em cilindros
 coaxiais

Suponhamos que a fonte de calor esteja situada no eixo central dos cilindros, e o gradiente térmico se processe então de maneira radial, propagando-se do cilindro de raio r_1 para o cilindro externo, de raio r_2 .

Suponhamos, também, esteja o cilindro interior a uma temperatura θ_1 , e seja θ_2 a temperatura do cilindro externo. Se essas temperaturas, ao cabo de certo tempo de operação, se tornarem constantes, isso indicará a existência de um fluxo uniforme de calor, que fluirá a uma taxa constante $\frac{dQ}{dt}$.

Encontramo-nos portanto, diante de uma situação de equilíbrio dinâmico do fluxo calorífero, ou seja, "steady state", a que se refere ZEMANSKY (18), e outros autores de língua inglesa por nós citados.

Com isso, tornamos constante o primeiro mem

bro da equação diferencial que traduz a lei da condução de calor.

Consideramos, agora, duas superfícies cilíndricas intermediárias, uma de raio r (que vai funcionar, na equação, como variável independente) e outra de raio $r + dr$, e sejam θ a temperatura apresentada pelos pontos daquela superfície, e $\theta + d\theta$ a correspondente à superfície de raio $r + dr$.

Na expressão $\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{d\theta}{dx}$, substituiremos então:

dx por dr , pois $dx = (r + dr) - r$.

A por $2\pi rL$, área lateral do cilindro de raio r , e altura igual a L .

Destarte, a expressão anterior se torna:

$$\frac{dQ}{dt} = -K \cdot 2\pi rL \frac{d\theta}{dr}$$

Tiremos em seguida o valor de $d\theta$:

$$d\theta = - \frac{\frac{dQ}{dt}}{2\pi LK} \frac{dr}{r}$$

O segundo membro da equação acha-se, agora, constituído por dois fatores: o primeiro deles será constante, desde que seja alcançada a situação de constância de fluxo ("steady state"), indicado no aparelho pela estabilização da diferença das temperaturas $\theta_1 - \theta_2$ dada pelo potenciômetro; o segundo fator é $\frac{dr}{r}$, que envolve a diferencial da variável independente r ; trata-se de uma função imediatamente integrável, resultando em $\text{Log}_n r$ (logarítmo de r na base neperiana), considerado nos limites convenientes.

Dessa maneira, teremos, integrando entre os limites r_1 e r_2 :

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta = \int_{r_1}^{r_2} - \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dr}{r} = - \frac{dQ}{dt} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} \dots$$

$$\left[\theta \right]_{\theta_1}^{\theta_2} = - \frac{dQ}{dt} \left[\text{Log}_n r \right]_{r_1}^{r_2}$$

Ora, $\left[\theta \right]_{\theta_1}^{\theta_2} = \theta_2 - \theta_1$

$$\left[\text{Log}_n r \right]_{r_1}^{r_2} = \text{Log}_n r_2 - \text{Log}_n r_1 = \text{Log}_n \frac{r_2}{r_1}$$

Portanto:

$$\theta_2 - \theta_1 = - \frac{dQ}{dt} \times \text{Log}_n \frac{r_2}{r_1}$$

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{dQ}{dt} \text{Log}_n \frac{r_2}{r_1}$$

Sem maiores dificuldades, podemos agora tirar o valor de K, que é o coeficiente de condutibilidade térmica objetivado:

$$2\pi LK(\theta_1 - \theta_2) = \frac{dQ}{dt} \text{Log}_n \frac{r_2}{r_1} \dots K = \frac{\frac{dQ}{dt} \text{Log}_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L (\theta_1 - \theta_2)}$$

Nessa expressão, notemos o seguinte:

r_2 , r_1 e L são dimensões do corpo de prova, portanto facilmente mensuráveis;

$\theta_1 - \theta_2$, que é também designado por $\Delta \theta$, é fornecido pelo potenciômetro, ligado aos pares terminais elétricos;

$\frac{dQ}{dt}$ representa a taxa de fluxo calorífico, constante, em situação de estado estacionário ("steady state"). Poderia ser expresso nas unidades cal/seg; - mas, no caso, é mais fácil exprimi-lo por intermédio do equivalente mecânico da caloria dividido por essa mesma unidade de tempo, ou seja, 0,24 joule/seg., ou seja, ainda, 0,24 VI seg/seg., do que resulta 0,24 VI.

Note-se que V e I são fornecidos pela aparelhagem, sendo V a diferença de potencial (ou força eletromotriz) entre os terminais, e I a intensidade da corrente que circula pelo resistor.

Então, a expressão anterior, que nos fornece K , pode ser escrita:

$$K = \frac{0,24 \text{ VI} \operatorname{Log}_n \frac{r_2}{r_1}}{2\tilde{\gamma} L (\theta_1 - \theta_2)}$$

Convém, de uma vez por todas, calcular as quantidades que são ou se apresentam como constantes no aparelho. Restarão, como variáveis, apenas V , I e $\theta_1 - \theta_2$, que serão fornecidos pela aparelhagem em cada uma das leituras.

$$2\tilde{\gamma} = 2 \times 3,14$$

$$L = 1,86 \text{ cm.}$$

$$r_2 = 0,975 \text{ cm.}$$

$$r_1 = 0,481 \text{ cm.}$$

A fórmula se torna:

$$K = \frac{0,24 \operatorname{Lgg}_n \frac{0,975}{0,481}}{2 \times 3,14 \times 1,86} \times \frac{VI}{\theta_1 - \theta_2}$$

$$K = 0,0145 \frac{VI}{\theta_1 - \theta_2} \quad \text{ou}$$

$$K = 0,0145 \frac{VI}{\Delta \theta}$$

funcionando o número 0,0145 como constante do aparelho em tese.

*
* *

6.4 - DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Passadas vinte e quatro horas da retirada do corpo de prova da matriz, ficando, como já dissemos, nesse intervalo o corpo armazenado ao ar, à temperatura ambiente, procedeu-se à determinação do coeficiente de condutibilidade térmica.

Inicialmente, foi o corpo de prova colocado no devido lugar do aparelho já descrito, estanto todas as conexões hidráulicas e elétricas completadas, e logo em seguida pôs-se o sistema hidráulico em funcionamento.

Como as medições foram iniciadas sempre nas temperaturas mais baixas, decorreram cerca de três horas para que a água do reservatório atingisse a desejada temperatura de 5°C e aí se estabilizasse.

Foram então ligados os resistores do cilindro central, que funcionam como fonte calorífica. Por meio do potenciógrafo foram feitas seguidamente leituras correspondentes às diferenças de temperaturas $\Delta \theta$, que os pares termo-elétricos situados nas faces interna e externa do corpo de prova apresentavam entre si. Depois de uma hora, aproximadamente, notou-se nítida estabilização dessa diferença $\Delta \theta$, o que mostrava ter o fluxo calorífico atingido um regime constante ("steady state"). Nessa ocasião, fazia-se a confirmação da medida indicada pelo potenciógrafo, por intermédio de um potenciômetro.

Concomitantemente, registraram-se os valores da amperagem e da voltagem indicados pelos aparelhos.

Obtidos assim todos os dados relativos a temperatura de 5°C, regulou-se então o termostato do refrigerador, a fim de que a água atingisse 10°C e nessa temperatura se estabilizasse. Nesse ponto, registraram-se análogamente os valores correspondentes a $\Delta \theta$, (também no regime de equilíbrio dinâmico), amperagem e voltagem.

Assim foi feito sucessivamente para as temperaturas de 15°, 20°, 25° ... até 55°C; limite superior da gama de temperatura por nós escolhida.

Usamos processo idêntico para todos os corpos de prova preparados, registrando-se os dados que estão expostos na tabela I.

6.5 - CÁLCULOS

Para cada uma das temperaturas fixadas para o fluxo de água foram feitos cálculos, a partir dos dados fornecidos pela aparelhagem, visando a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica.

Assim, por exemplo no corpo de prova número 1, para a temperatura de 5°C, encontramos:

$$I = 0,120 \text{ amperes}$$

$$V = 3,78 \text{ volts.}$$

Leitura do potenciômetro: 0,339; donde, pela tabela correspondente, encontramos:

$$\Delta \theta = 4,36^\circ\text{C}$$

Empregando agora a fórmula

$$K = \frac{0,0145 \times EI}{\Delta \theta}, \text{ vem:}$$

$$K = \frac{0,0145 \times 0,120 \times 3,78}{4,36}$$

$$K = 0,0015 \quad \text{ou}$$

$$K = 1,5 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{cal}}{\text{seg.cm.}^{\circ}\text{C}}$$

Para tôdas as temperaturas e todos os corpos de prova procede-se da mesma maneira.

6.6 - TABELAS

OBS.: - Para cada corpo de prova, verificou-se constância nas leituras do amperímetro, do voltímetro e do potenciômetro, em tôda a gama de temperaturas empregadas.

Disso decorrerá naturalmente a constância do valor de K, em cada corpo de prova, e a dispensa de serem apresentados os mesmos valores nas temperaturas citadas.

TABELA I

PROPORÇÃO 1/05		
CORPO DE PROVA Nº 1	CORPO DE PROVA Nº 2	CORPO DE PROVA Nº 3
Amp. — 0,120	Amp. — 0,120	Amp. — 0,118
Volt. — 3,78	Volt. — 3,78	Volt. — 3,73
$\Delta \theta$ — 4,36°C	$\Delta \theta$ — 4,61°C	$\Delta \theta$ — 4,80°C
temp. — 5° a 55°C	temp. — 5° a 55°C	temp. — 5° a 55°C
K=0,0015 ou $1,5 \times 10^{-3}$	K=0,0014 ou $1,4 \times 10^{-3}$	K=0,0013 ou $1,3 \times 10^{-3}$

Média: $K = 0,0014$ ou
 $1,4 \times 10^{-3}$ cal
 seg.cm.°C

TABELA II

PROPORÇÃO 1,3/0,5		
CORPO DE PROVA Nº 1	CORPO DE PROVA Nº 2	CORPO DE PROVA Nº 3
Amp. — 0,118	Amp. — 0,118	Amp. — 0,118
Volt. — 3,75	Volt. — 3,75	Volt. — 3,75
$\Delta \theta$ — 4,14°C	$\Delta \theta$ — 3,63°C	$\Delta \theta$ — 4,00°C
temp. — 5° a 55°C	temp. — 5° a 55°C	temp. — 5° a 55°C
K=0,0015 ou $1,5 \times 10^{-3}$	K=0,0017 ou $1,7 \times 10^{-3}$	K=0,0016 ou $1,6 \times 10^{-3}$

Média: $K = 0,0016$ ou
 $1,6 \times 10^{-3}$ cal
 seg.cm.°C

7 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 - Características e funcionamento do aparelho

O aparelho, cuja construção e funcionamento são objetos dêste trabalho, apresenta certas características, de ponderável alcance técnico e científico, a nosso ver.

A primeira, talvez a mais importante, é a ausência completa, ou quase completa pelo menos, de perdas de calor devido a fluxos térmicos (ou gradientes) em direções não desejadas. No caso, o fluxo é praticamente todo radial, não devendo, no terço médio do corpo de prova — onde ficam os pares termo-elétricos — existir fluxos parasitários na direção das geratrizes do cilindro, desde que os terços superior e inferior do corpo de prova são aquecidos por fontes de calor equivalentes à central. A "cobertura térmica" não depende, portanto, da ação de substâncias isolantes, como lã-de-vidro, flocos de espura de plásticos, etc., no espaço adjacente, de atuação sem dúvida proveitosa, mas nunca de eficiência total.

Outrossim, queremos crer que o sistema adotado elimina a possibilidade de transmissão de calor, do terminal quente para o terminal frio, por outro meio que não o do gradiente criado atravez do corpo de prova.

Outro ponto importante é a amplitude de diferencial de temperaturas $\Delta \theta$, que no aparelho não ultrapassou jamais os limites de 3° e 5°C , ficando portanto sempre em torno de 4°C , que é um valor fisicamente indicado, tendo em vista a precisão da medida

do coeficiente de condutibilidade térmica (ZEMANSKY (19), DECICO (4).

Cumpre salientar, ainda, que o aparelho usa do nesta pesquisa nos possibilita a medição da condutibilidade térmica dentro de uma ampla gama de temperaturas, intervaladas segundo a necessidade do pesquisador, praticamente, o que enseja, por um lado, o estabelecimento de níveis térmicos que simulem condições encontradas na cavidade oral, e por outro lado, permite, eventualmente, a obtenção de dados necessários ao delineamento de curvas de variação do coeficiente de condutibilidade térmica em função da temperatura.

Na pesquisa que realizamos com o cimento de fosfato de zinco, achamos suficiente um intervalo de 5°C de temperatura entre duas etapas consecutivas do ensaio. Dessa forma, trabalhamos segundo as temperaturas de 5°C, depois 10°C, em seguida 15°C ... até 55°C, medidas na superfície "fria" do corpo de prova. Em experiências complementares, entretanto, ficou patente que êsses intervalos poderiam ser menores, se isso fôsse de interêsse para a pesquisa, bastando para tal controlar convenientemente o reostato.

O tempo dispendido para a execução total do ensaio pode ser, tudo indica, diminuído, com o emprego de um reservatório de água de capacidade menor que aquêle usado no aparelho descrito. O limite mínimo do volume d'água, compatível com as condições do ensaio, poderia ser determinado experimentalmente, dentro das condições de estabilidade térmica do fluxo hidráulico.

7.2 - Discussão dos dados numéricos

Os resultados da condutibilidade térmica encontrados para o cimento de fosfato de zinco mostram que tal coeficiente não varia dentro do intervalo de temperaturas objetivado (de 5° a 55°C). Portanto, se tivéssemos visado à obtenção de curvas de variação de condutibilidade, marcadas em ordenadas, em função das temperaturas, lançadas no eixo das abcissas, encontraríamos uma reta horizontal, isto é, paralela ao eixo das abcissas (FIG. 6).

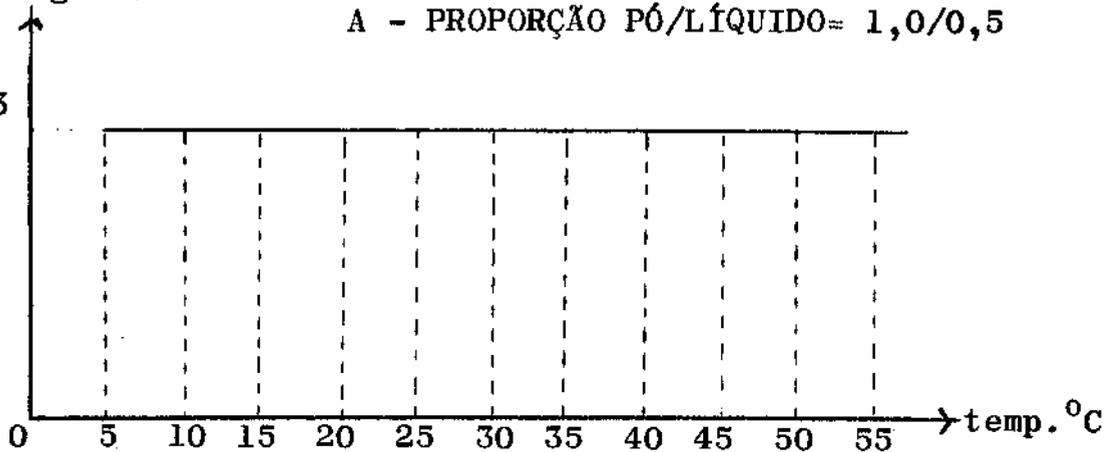
Os valores encontrados situam-se abaixo daqueles obtidos por SIMERAL (13), aliás, também citado por PHILLIPS (10); $2,81 \times 10^{-3}$; por PHILLIPS (10): $3,91 - 5,37 \times 10^{-3}$. (com a ressalva necessária, de que êsses três autores não citam explicitamente as proporções pó/líquido empregadas) e CRAIG & PEYTON (3): $2,5 - 3,1 \times 10^{-3}$. Sem embargo, pode-se dizer que são da mesma ordem que êsses referidos resultados, ao passo que, conjuntamente com êsses outros, situam-se muito acima dos valores enunciados pelo segundo trabalho, publicado em 1956, de PHILLIPS e col. (11), que são $3,11 - 3,88 \times 10^{-4}$ "cal/seg/cm²/°C/cm".

Os corpos de prova confeccionados com um excesso de pó de trinta por cento, em relação à quantidade dêsse material indicada pelo ensaio de consistência, apresentaram uma média de resultados superior àquela dos corpos de prova de proporção normal (Tabelas I e II). A análise estatística feita com êsses dados, por meio do teste T, mostra entretanto que os dois grupos não diferem significativamente entre sí, nem mesmo ao

$K \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm. } ^\circ\text{C}}$

A - PROPORÇÃO PÓ/LÍQUIDO= 1,0/0,5

$1,4 \times 10^{-3}$



$K \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm. } ^\circ\text{C}}$

B - PROPORÇÃO PÓ/LÍQUIDO= 1,3/0,5

$1,6 \times 10^{-3}$

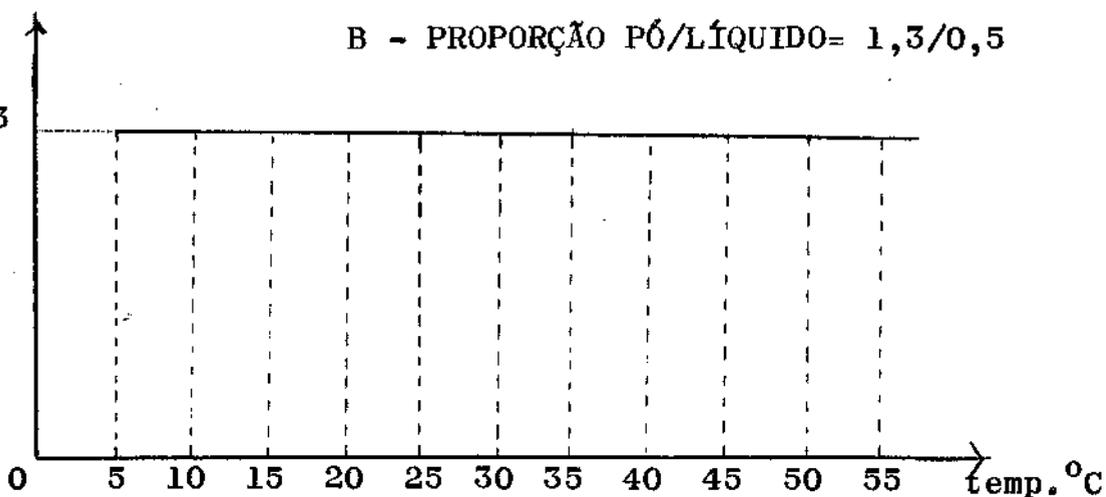


Gráfico de variação do coeficiente de condutibilidade térmica do cimento de fosfato de zinco.

nível de 5%.

À primeira vista, tais resultados parecem -
ir de encontro àqueles expostos por CRAIG & PEYTON -
(3), contrariando-os.

Não obstante, convém salientar que se tra-
tam de resultados obtidos com corpos de prova confec-
cionados com diferentes proporções pó/líquido, e dife-
rentemente tratados, nas duas experiências.

Para se estudar com precisão a influência -
do aumento da proporção de pó na variação do coefici-
ente de condutibilidade térmica dêsse cimento, seria
necessário proceder uma pesquisa que empregasse maior
número de corpos de prova, em diversos níveis de con-
centração de pó.

*

* *

8 - CONCLUSÕES

1ª) O aparelho construído proporciona a medição da condutibilidade térmica de materiais restauradores em condições de perdas caloríficas praticamente nulas, sob uma gama de temperaturas escalonadas de 5° em 5°C, com uma amplitude total de 50°C, sendo o limite mínimo de 5°C e o máximo de 55°C, medidos na parede fria;

2ª) o coeficiente de condutibilidade térmica do cimento de fosfato de zinco, preparado de acordo com a proporção de materiais indicada pelo ensaio de consistência, e ensaiado segundo diferentes graus de temperatura média, dentro dos limites de 5° e 55°C, revelou-se constante e igual a $1,4 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm. } ^\circ\text{C}}$.

Tal resultado comprova suas qualidades de bom isolante térmico;

3ª) o aumento de 30% na quantidade de pó empregada na confecção dos corpos de prova não produziu variação significativa, ao nível de 5%, da condutibilidade térmica do material.

*

* *

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - BELMUEDES DE TOLEDO, D. - Coroas ôcas de porcelana - Um estudo mecânico. Piracicaba, Faculdade de Farmácia e Odontologia de Piracicaba, 1966 [Tese Docência Livre].
- 2 - BRADEN, M. - Heat conductivity of tooth structure dental cements and amalgam. J.dent.Res., Baltimore,, 43 (3): 315-322, may/jun., 1964.
- 3 - CRAIG, R.G. & PEYTON, F.A. - Thermal conductivity of tooth structure, dental cements and amalgam. J.dent.Res., Baltimore, 40 (3):411, may/jun., 1961.
- 4 - DECICO, A. - Informação pessoal.
- 5 - - GRUPO BRASILEIRO DE MATERIAIS DENTÁRIOS - Especificações para cimento de fosfato de zinco, nº 4, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1966.
- 6 - HOLLEMBACK, G.M. & SULLIVAN, M. - The thermal conductivity of restorative materials and cavity liners. J.sth.Cal.St.dent.Ass., California, 32 (7): 208-213, jul., 1964.
- 7 - KERSTEN, S.M. - Thermal properties of soil - Bulletin nº 28, of the University of Minnesota Institute of Tecnology. Engineering experiment station. Mineapolis, 52 (21):11-20, - jun.1949.

- 8 - LIZANTI, V.P. & ZANDER, H.A. - Thermal conductivity of dentin. J.dent.Res., Baltimore, 29 (4): 493, aug., 1950.
- 9 - MILECK, A. - Ligas de cromo cobalto utilizadas - em próteses parciais removíveis - estudo de algumas propriedades. Piracicaba, Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade de Campinas, 1967 |Tese Doutorado|.
- 10 - PHILLIPS, R.W., REINKING, R.H. & PHILLIPS, L.J. - Thermal conductivity of dental cements. - A method and determination of three commercial materials. J.dent.Res., Baltimore, 33 (4): 511-518, aug., 1954.
- 11 - PHILLIPS, R.W., JOHNSON, R.J. & PHILLIPS, L.J. - An improved method for measuring the coefficient of thermal conductivity of dental cement. J.Amer.dent.Ass., Chicago, 53 (5): - 577-583, nov., 1956.
- 12 - SARTINI FILHO, R. - Estudo comparativo da cavidade de classe II complexas (Ward., Gabel, Irving e Gillett) quanto a retenção sob carga axial de tração. Piracicaba, Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade de Campinas, 1967 |Tese de Doutorado|.

- 13 - SIMERAL, W.G. - Thermal conductivity of dental materials. Microfilm of papers presented at the annual I.A.D.R. Dental Materials Group Meeting, Indiana, 1951 (Micro-filme).
- 14 - SOYENKOF, B.C. & OKUN, J.H. - Thermal conductivity measurement of dental tissues with the aid of thermistors. J.Amer.dent.Ass., 57(1): 23-30, Chicago, jul., 1958.
- 15 - VOTH, E.D., PHILLIPS, R.W. & SWARTZ, M.L. - Thermal diffusion through amalgam and various liners. J.dent.Res., Chicago, 45 (4): 1184, jul., 1966.
- 16 - ZEMANSKY, M.W. - Heat and thermo-dynamics. 2ª ed. New-York. McGraw-Hill Book Company Inc. 1943, p. 74.
- 17 - IDEM, IBIDEM - p. 75.
- 18 - IDEM, IBIDEM - p. 76.
- 19 - IDEM, IBIDEM - p. 77.

Segundo o P.N.B.-66 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Abreviaturas dos títulos e periódicos segundo World List of Scientific Periodicals 4 rd. ed., London, Butterworths., 1963.
