

Caracterização Física de Materiais

Caracterização Térmica

ANÁLISE TÉRMICA

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
HUMBERTO GRACHER RIELLA

Caracterização Física de Materiais

Caracterização Térmica

Análise Térmica - Thermal Analysis (TA)

DEFINIÇÃO: Termo genérico para métodos pelos quais as propriedades físicas e químicas de uma substância ou mistura são determinadas em função da temperatura e do tempo, enquanto a amostra é submetida a um programa controlado de temperatura, o qual pode envolver aquecimento ou resfriamento (dinâmico) ou temperatura constante (isotérmico), ou qualquer destes em seqüência.

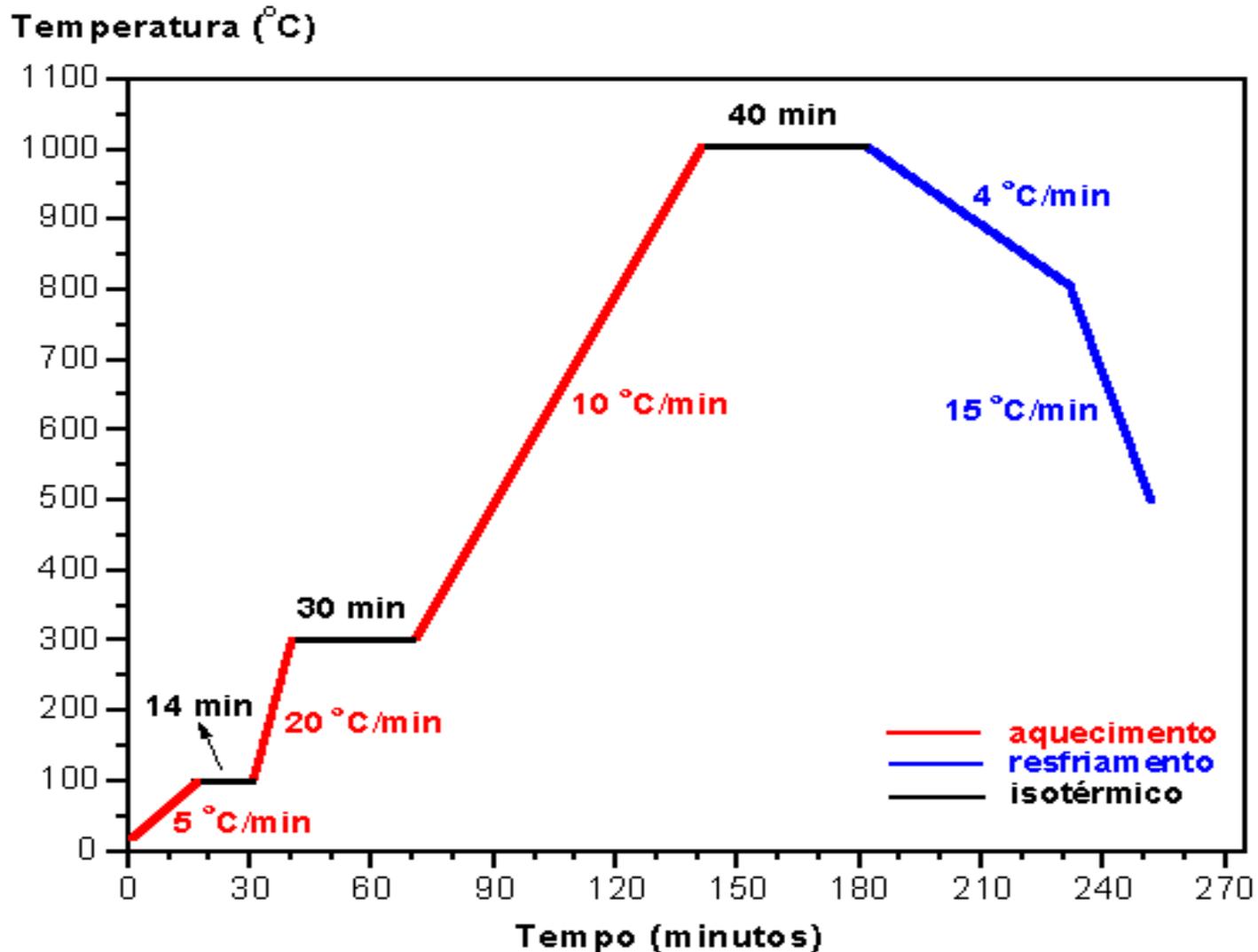
ICTAC (International Confederation of Thermal Analysis and Calorimetry),

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)

ASTM (American Society for Testing and Materials)

Grupo de técnicas nas quais uma propriedade física de uma substância e/ou de seus produtos de reação é medida como função da temperatura, enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura.

Programa Controlado de Temperatura



Áreas de Atuação



Aplicações



Técnicas

Técnica	Abreviatura	Propriedade Medida
Termogravimetria	TG	Massa
Análise Térmica Diferencial	DTA	Temperatura
Calorimetria Exploratória Diferencial	DSC	Entalpia
Análise Termomecânica	TMA	Propriedades Mecânicas
Termomecânica Dinâmica	DMA	Propriedades Mecânicas
Deteção de Gás Desprendido	EGD	Voláteis
Análise de Gás Desprendido	EGA	Voláteis
Termodilatometria	TD	Dimensão
Análise por Produção Térmica de Partículas	TPA	Massa
Análise Térmica por Radioemissão	ETA	Massa
Termossonimetria	TS	Som (emissão)
Termomagnetoimetria	TM	Características Magnéticas
Termoluminescência	TL	Luz Emitida
Termoacustimetria		Som (velocidade)
Termoeletrometria		Características Elétricas
Termooptometria		Características Ópticas

Técnicas Simultâneas

DEFINIÇÃO: Termo utilizado quando duas ou mais técnicas termoanalíticas são aplicadas simultaneamente sobre a mesma amostra. Nesse caso, um hífen é utilizado para separar as abreviações.

Exemplos

Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial: TG-DTA

Termogravimetria e Detecção de Gás Desprendido: TG-EGD

Análise Térmica Diferencial e Análise de Gás Desprendido: DTA-EGA

Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial e Análise de Gás Desprendido:
TG -DTA-EGA

Caracterização Física de Materiais

- Caracterização Térmica – Análise Térmica
 - ◆ Termogravimetria
 - ◆ Análise Térmica Diferencial
 - ◆ Calorimetria Exploratória Diferencial
 - ◆ Termodilatometria

Caracterização Física de Materiais

■ Caracterização Térmica – Análise Térmica



◆ **Termogravimetria**

◆ Análise Térmica Diferencial

◆ Calorimetria Exploratória Diferencial

◆ Termodilatometria

Termogravimetria

Termogravimetria é uma técnica de análise térmica onde a massa da amostra é registrada em função da temperatura ou do tempo.

Termogravimetria Isotérmica: a massa da amostra é registrada em função do tempo, a temperatura constante.

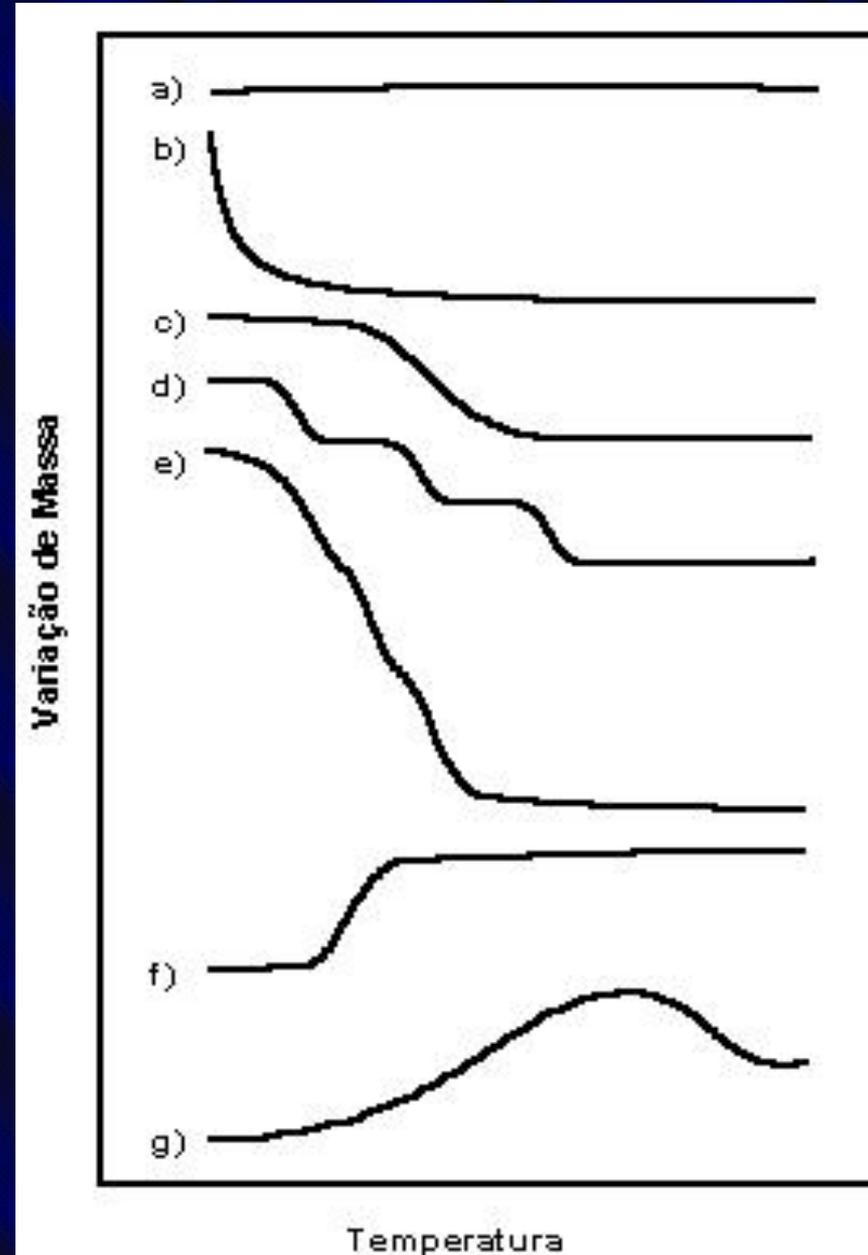
Termogravimetria Dinâmica: a massa da amostra é registrada sob condições nas quais a amostra é submetida a um programa de aquecimento ou resfriamento predeterminado, normalmente linear.

Termogravimetria Quasi-isotérmica: a massa da amostra é registrada sob condições de aquecimento numa série de patamares de temperatura.

Termogravimetria

Principais Tipos de Curvas

A amostra não apresenta decomposição com perda de voláteis na faixa de temperatura estudada. Contudo, nenhuma informação é obtida a respeito de transformações de fase no estado sólido, fusão, ou outras reações que não envolvem produtos voláteis (variação de massa). O uso de alguma outra técnica termoanalítica simultânea é necessário para eliminar essas possibilidades. Assumindo-se que essas possibilidades sejam eliminadas, esse tipo de curva demonstra que a amostra é termicamente estável na faixa de temperatura estudada. Esse pode ser considerado um bom comportamento se a amostra testada é de um material resistente ao calor, ou um mau comportamento caso um explosivo esteja sendo testado

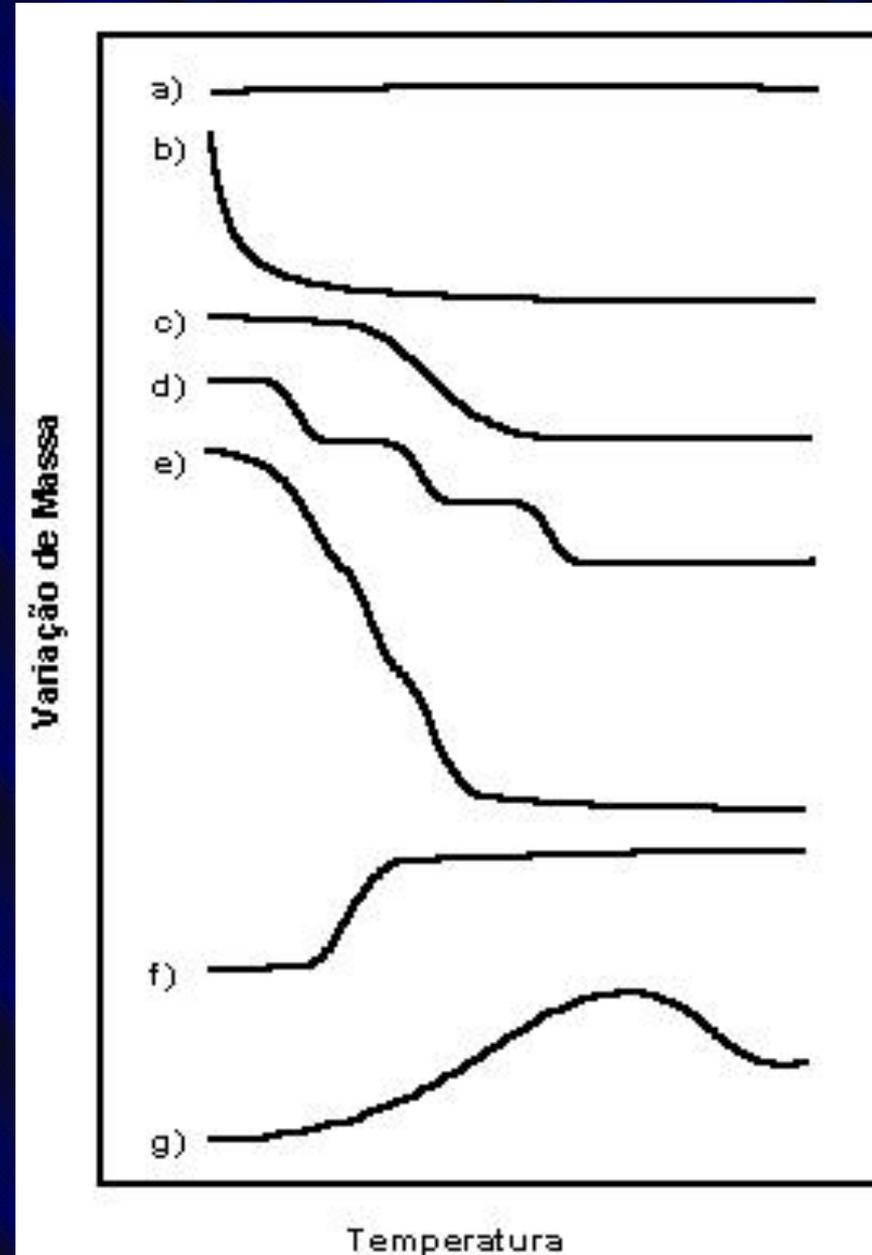


Termogravimetria

Principais Tipos de Curvas

Ba rápida perda de peso inicial observada é característica dos processos de secagem e dessorção. Para assegurar-se que se trata dos fenômenos citados, uma segunda análise, na mesma amostra, deverá resultar numa curva TG do tipo a), mostrada na figura e já discutida

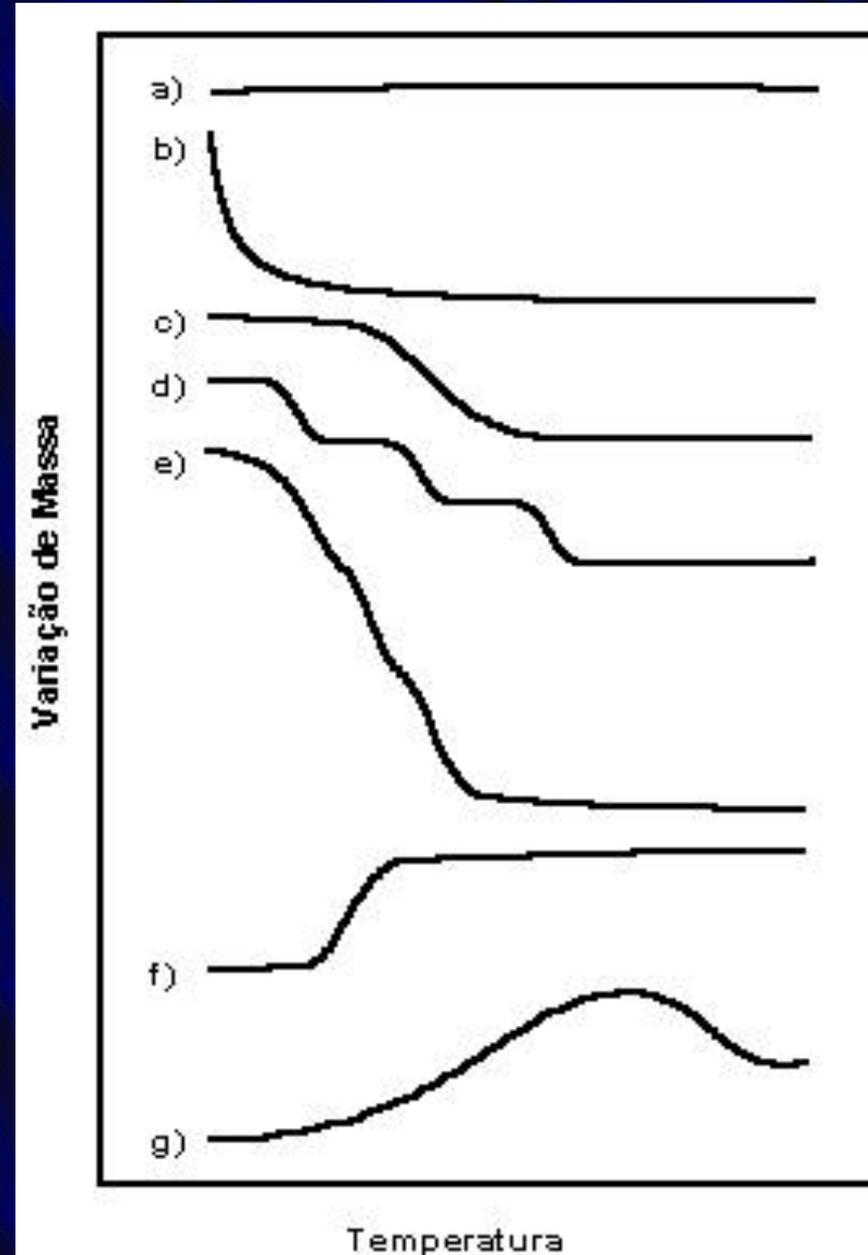
Cesse tipo de curva TG é resultante da decomposição da amostra num único estágio. Essa curva é utilizada para definir o limite de estabilidade do material testado, para determinar a estequiometria e para estudar a cinética da reação



Termogravimetria

Principais Tipos de Curvas

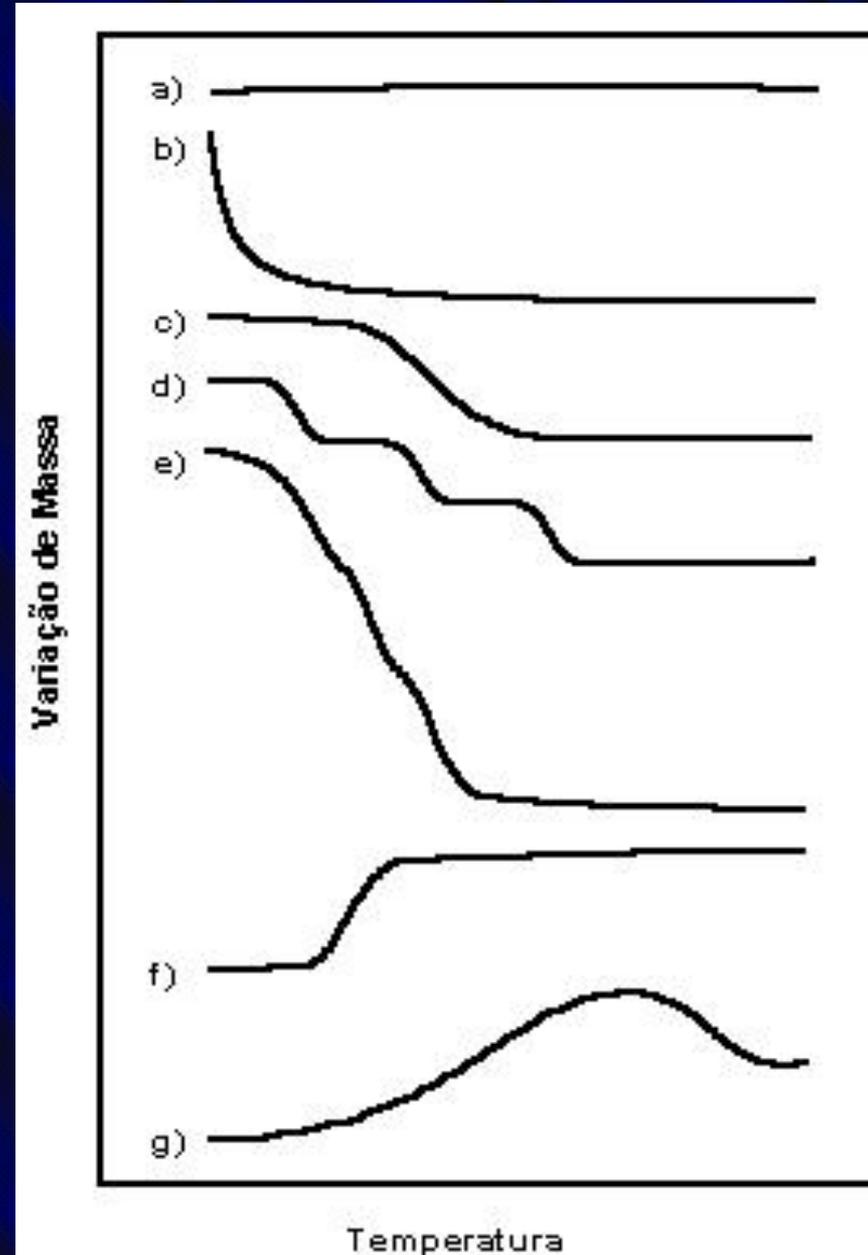
Dessa curva TG indica decomposição em vários estágios (no caso do exemplo, 3 estágios). Nesse caso, os produtos intermediários são bastante estáveis, o que pode ser observado com base nos patamares (variação de massa praticamente nula) existentes entre os estágios da decomposição. Também nesse caso os limites de estabilidade do material da amostra podem ser determinados a partir da curva, assim como a estequiometria da reação, nesse caso bem mais complicada



Termogravimetria

Principais Tipos de Curvas

E decomposição em vários estágios, porém os produtos intermediários da decomposição, também em 3 estágios, são muito pouco estáveis. Esse tipo de curva fornece muito pouca informação quanto aos estágios intermediários da reação, permitindo, apenas, a determinação do limite de estabilidade e estequiometria da reação global. Muito freqüentemente é possível melhorar a qualidade do resultado pesquisando-se o efeito da taxa de aquecimento na resolução da curva. Sob baixas taxas de aquecimento, esse tipo de curva tende a assemelhar-se à curva tipo d), discriminando-se melhor os estágios intermediários da reação.

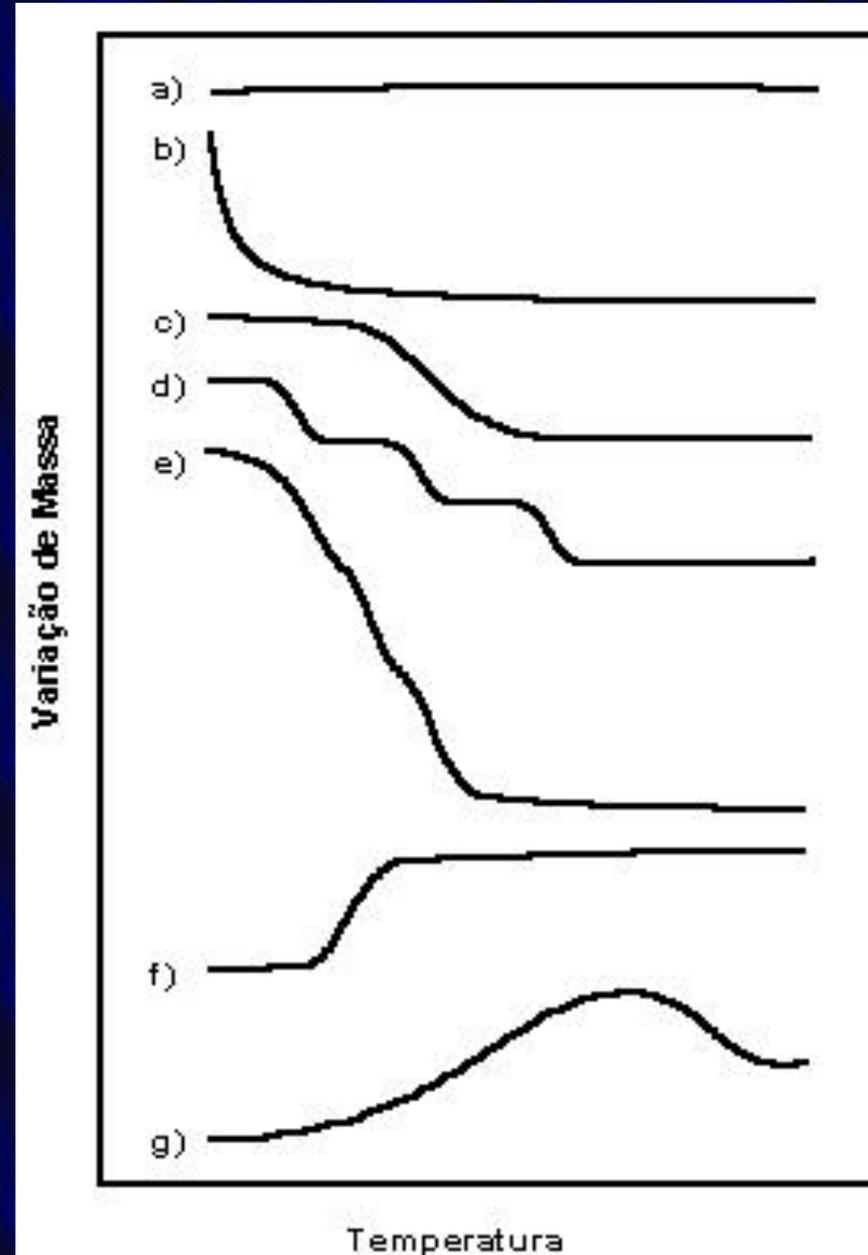


Termogravimetria

Principais Tipos de Curvas

F esse tipo de curva TG mostra um ganho de massa resultante da reação da amostra com a atmosfera do ensaio. Um exemplo típico é a oxidação de uma amostra metálica (é possível estudar a cinética de oxidação) ou a hidratação/nitretação de um metal

G nesse caso o produto de uma reação de oxidação/nitretação/hidratação, uma vez formado numa reação que resulta num ganho de peso, se decompõe numa temperatura superior àquela na qual foi formado. Esse tipo de curva não é freqüente



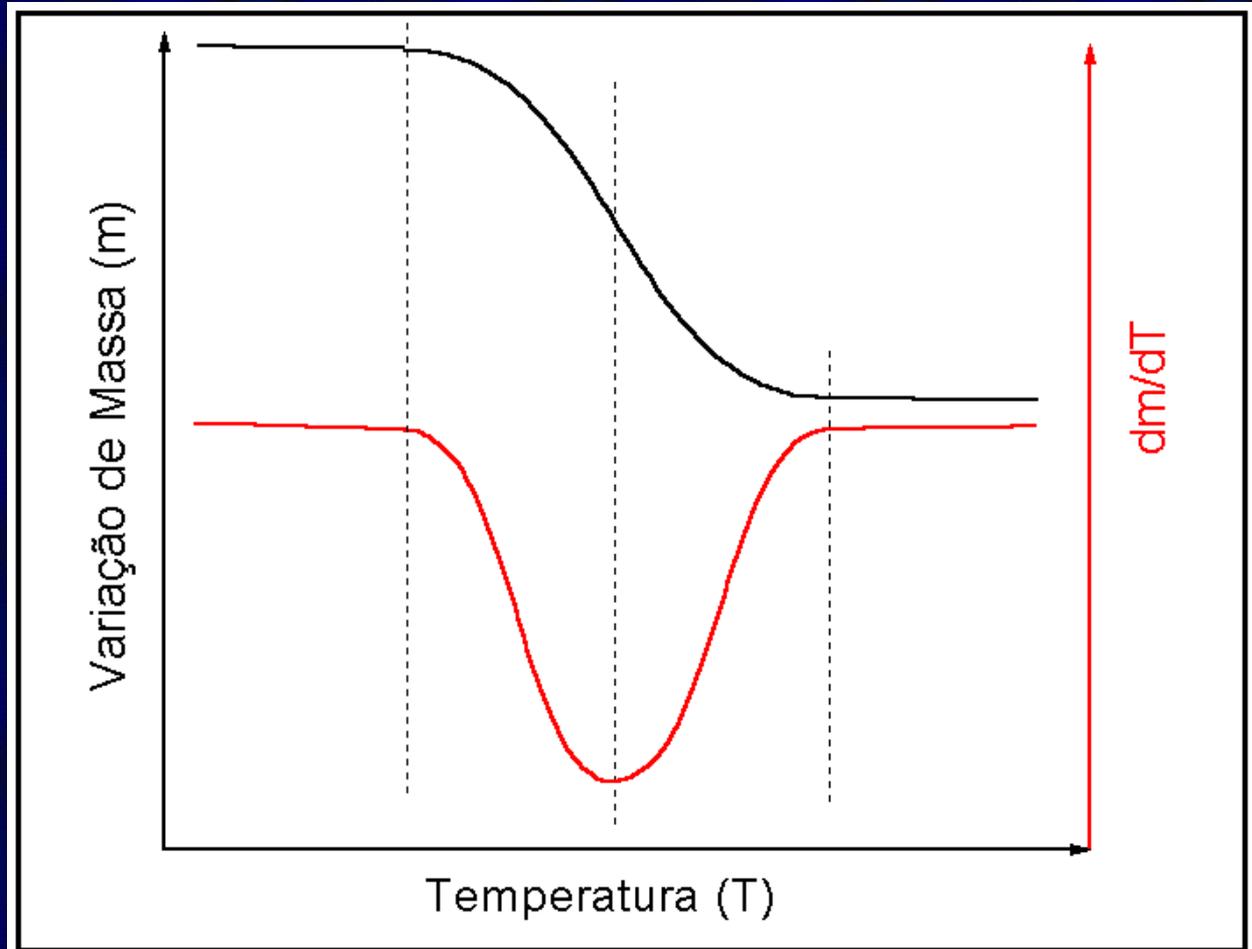
Termogravimetria Derivada (DTG)

Termogravimetria Derivada é uma técnica de análise térmica onde é obtida a derivada primeira da curva TG em função da temperatura ou do tempo. A curva termogravimétrica derivada, ou curva DTG, fornece a velocidade da variação de massa em função da temperatura (dm/dT) ou do tempo (dm/dt). **A curva DTG não contém mais informação que a curva TG, ela apenas apresenta os dados de forma diferente.**

Mostra as “sutilezas” da curva TG, sendo usada como banco de dados

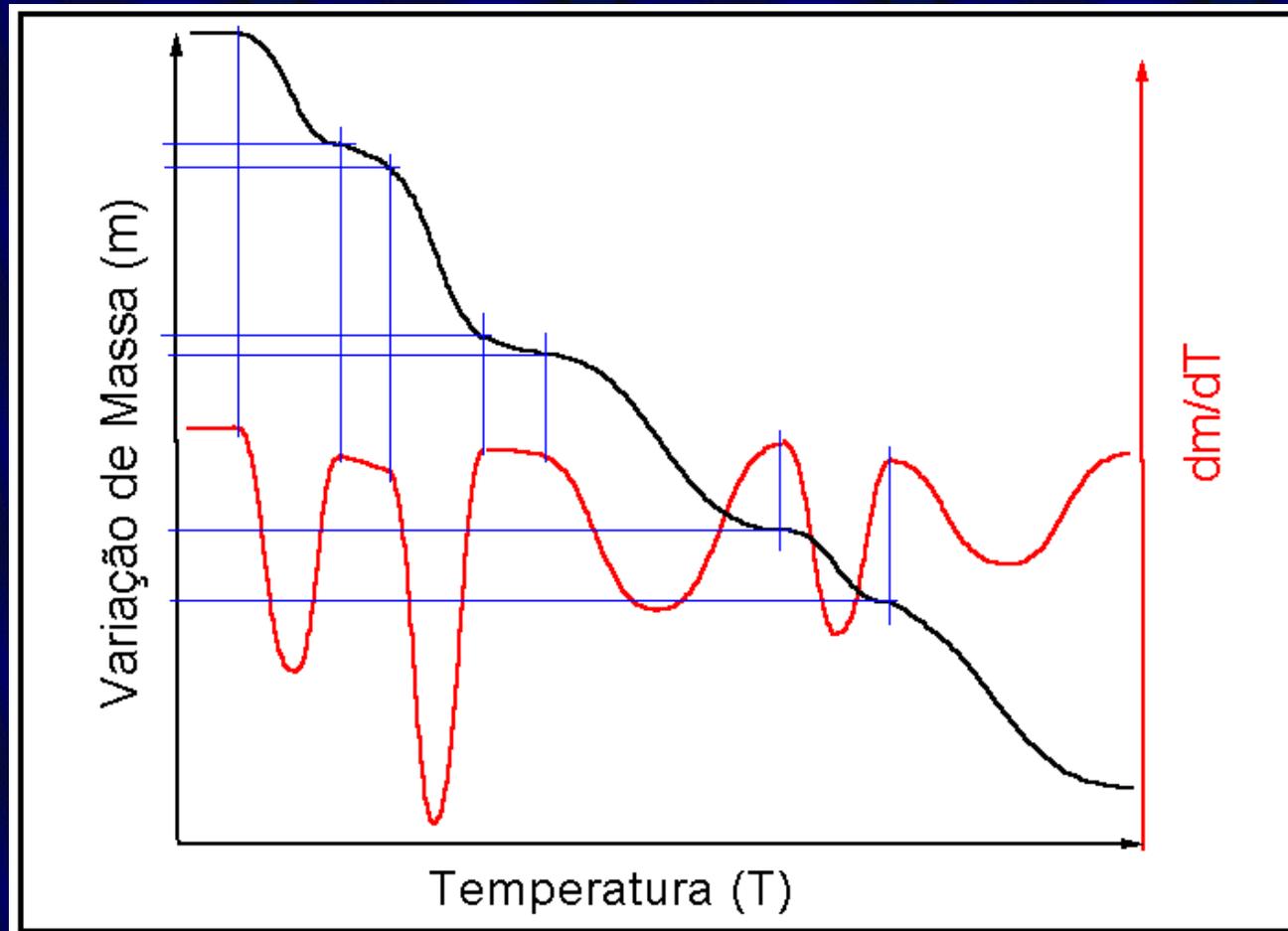
Termogravimetria Derivada

determinação precisa de temperaturas para as quais iniciam-se processos de decomposição e oxidação e temperatura em que a velocidade de decomposição ou oxidação é máxima



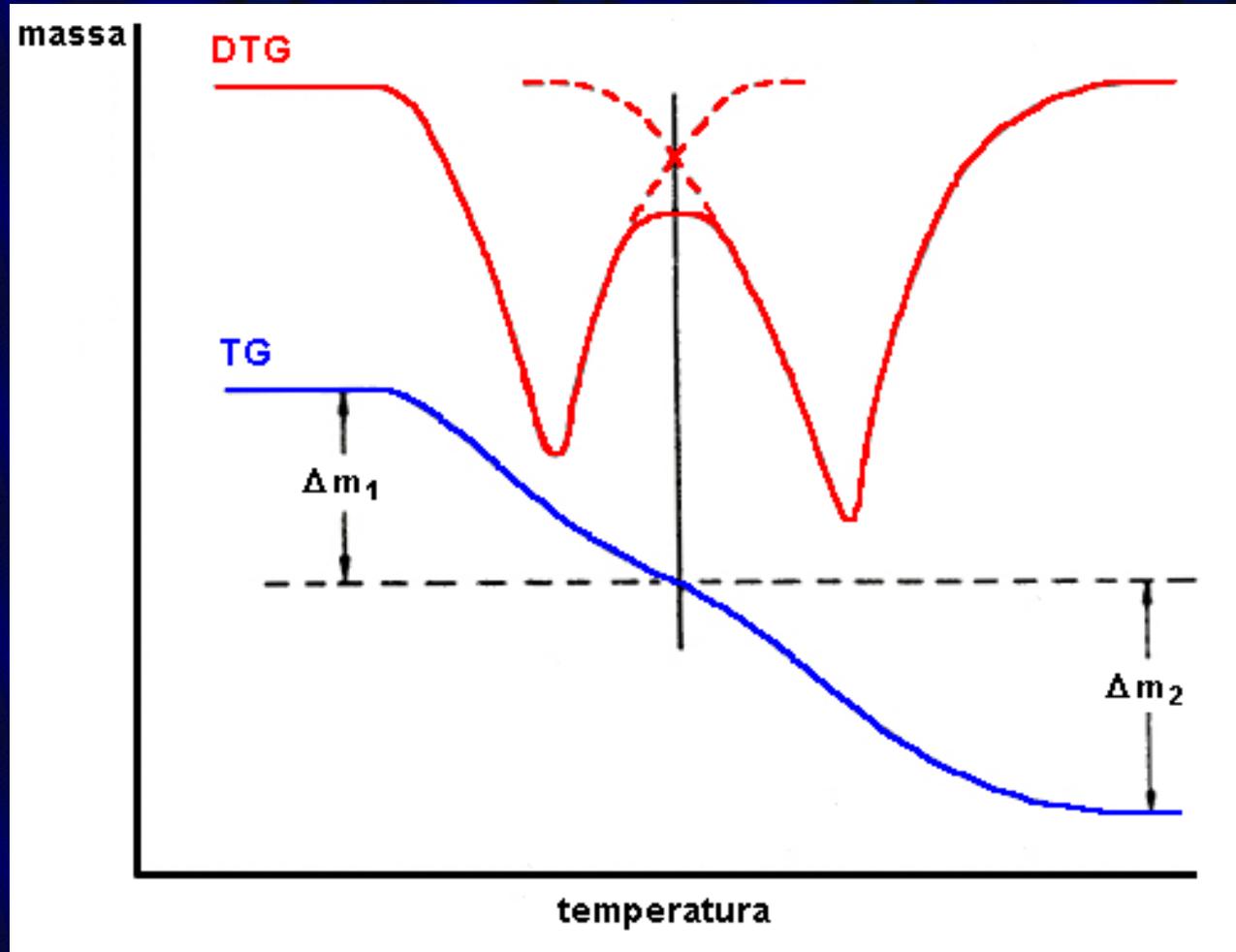
Termogravimetria Derivada

determinação quantitativa de variações de massa pela determinação precisa da distância no eixo de massas entre dois pontos de interesse;



Termogravimetria Derivada

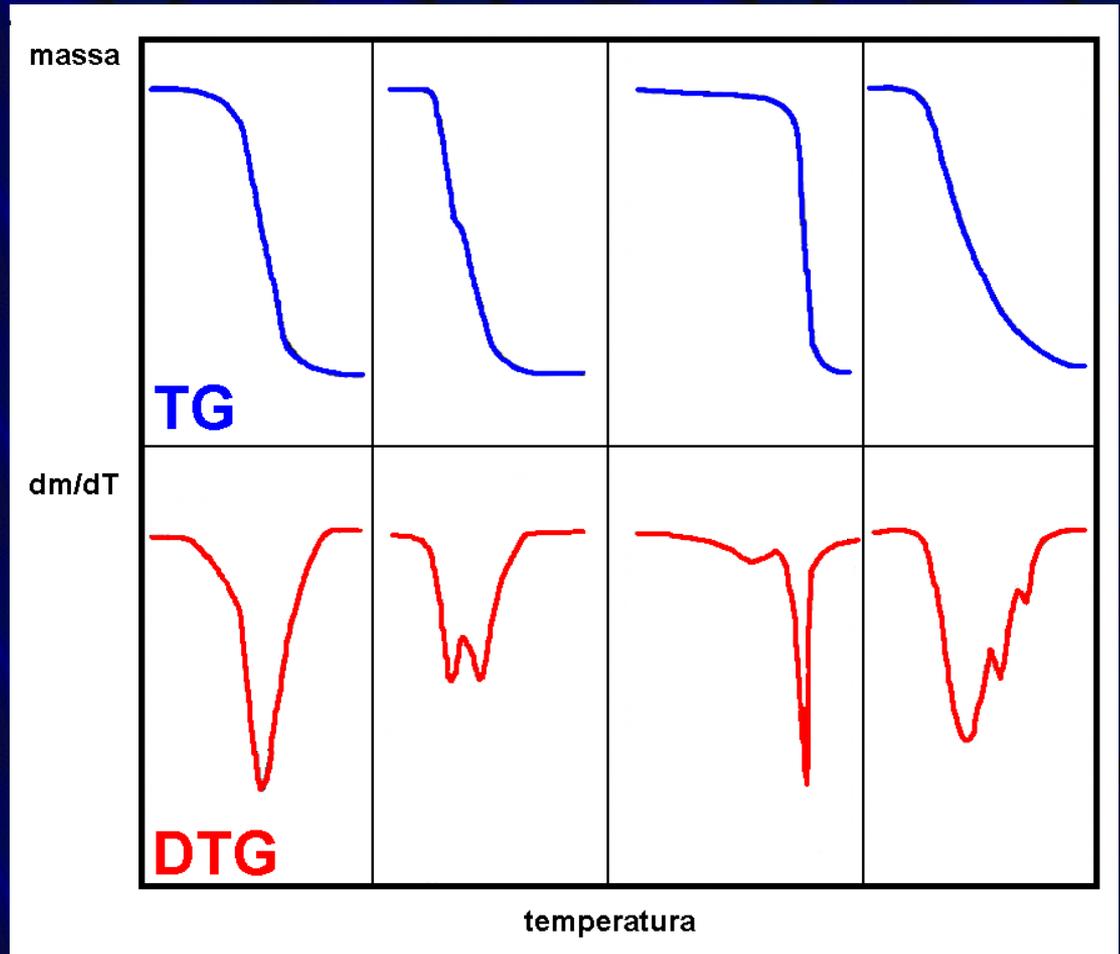
quando ocorrem reações simultâneas, é difícil localizar na curva TG um ponto ambíguo onde termina uma reação e começa outra. Por meio da curva DTG, utilizando-se uma extrapolação, é possível determinar com boa aproximação esse ponto ambíguo;



Termogravimetria Derivada

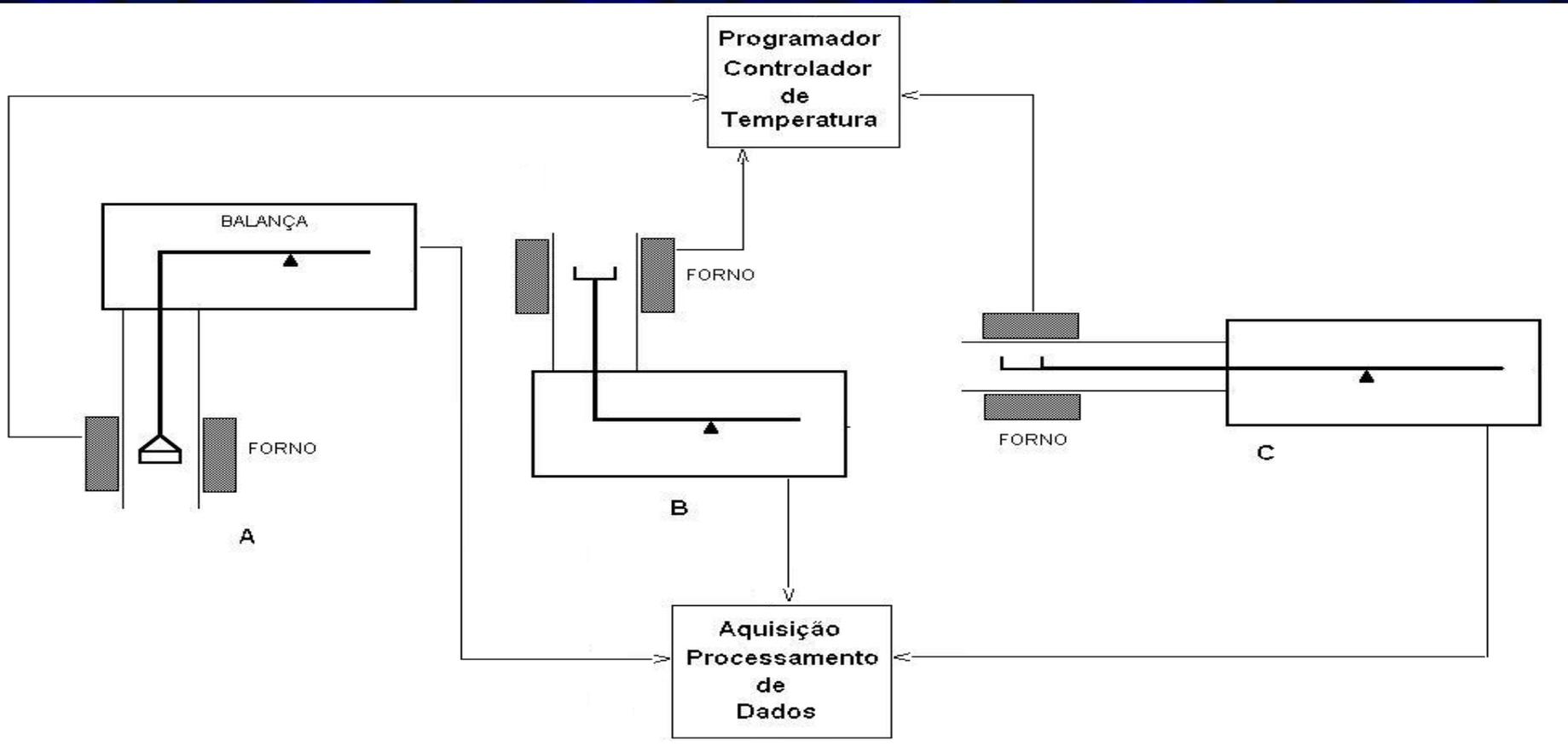
auxiliar importante na resolução de curvas TG complexas, discriminando-se estágios muitas vezes pouco discriminados na curva TG. Apesar de não apresentar dados adicionais, a curva DTG apresenta a informação obtida na curva TG de uma forma **visualmente mais acessível**.

Mostra as “sutilezas” da curva TG, sendo usada como banco de dados.



Termobalança

É o instrumento básico da Termogravimetria. Basicamente, 3 arranjos balança / amostra / forno são possíveis:



Termobalança

Mecanismo de pesagem tipo “*posição nula*” (amostra não se move).

Mecanismos: eletro-óptico, eletromagnético, piezoelétrico.

Fornos do tipo resistivo: resposta rápida para aquecimento e resfriamento:

Nichrome e Kantal – até 1200 °C;

Carbeto de Silício – até 1500 °C;

Platina – até 1700 °C

Molibdênio, Tungstênio e Grafite – acima de 1700 °C (atmosfera livre de O₂)

Porta-amostras:

até 600 °C – alumínio;

até 1700 °C – Al₂O₃ ou platina;

acima de 1700 °C – Grafite

Sensores mais comuns:

cromel-alumel – até 1200 °C

Pt-Pt13%Rh – até 1700 °C

W-Re – até 1700 °C (atmosferas redutoras H₂, CO, CO₂)

Fatores que Afetam a Curva TG

FATORES INSTRUMENTAIS

- A) Taxa de Aquecimento**
- B) Atmosfera**
- C) Porta-amostras**

FATORES RELACIONADOS ÀS CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

- A) Quantidade**
- B) Tamanho e Forma da Partícula**
- C) Contato amostra/atmosfera (porta-amostra e empacotamento)**
- D) Calor de reação**
- E) Condutividade térmica**

Fatores que Afetam a Curva TG

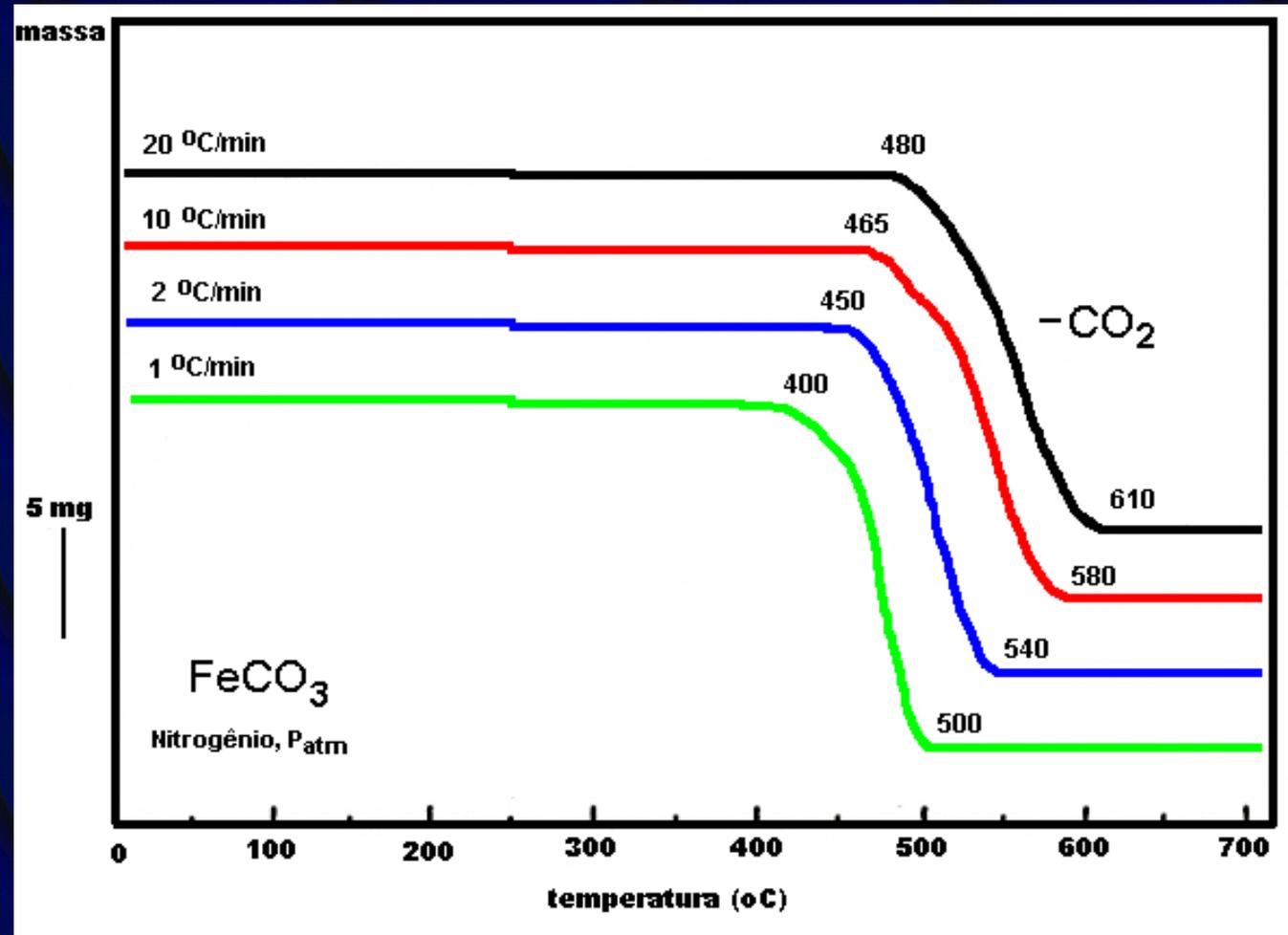
TAXA DE AQUECIMENTO

$$(T_i)_R > (T_i)_L$$

$$(T_f)_R > (T_f)_L$$

$$(I)_R > (I)_L$$

$$I_{\text{reação}} = T_f - T_i$$



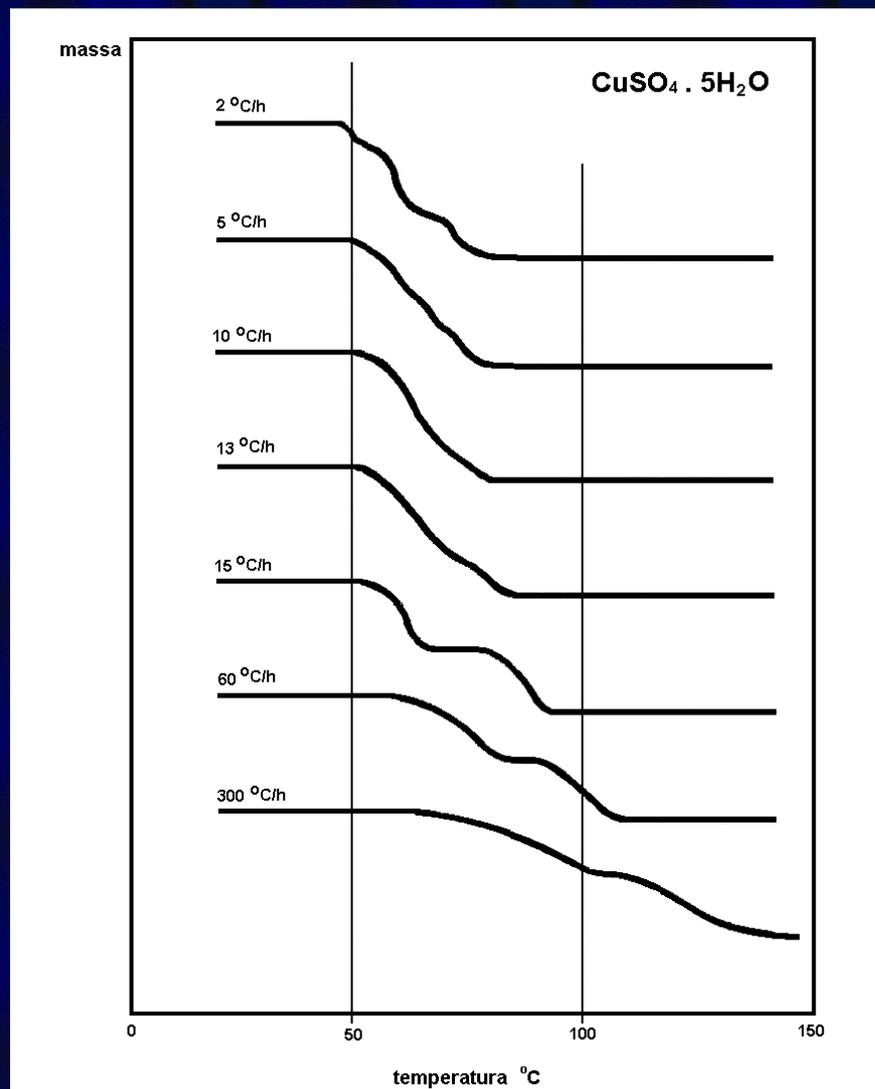
Fatores que Afetam a Curva TG

TAXA DE AQUECIMENTO

Detecção de Compostos

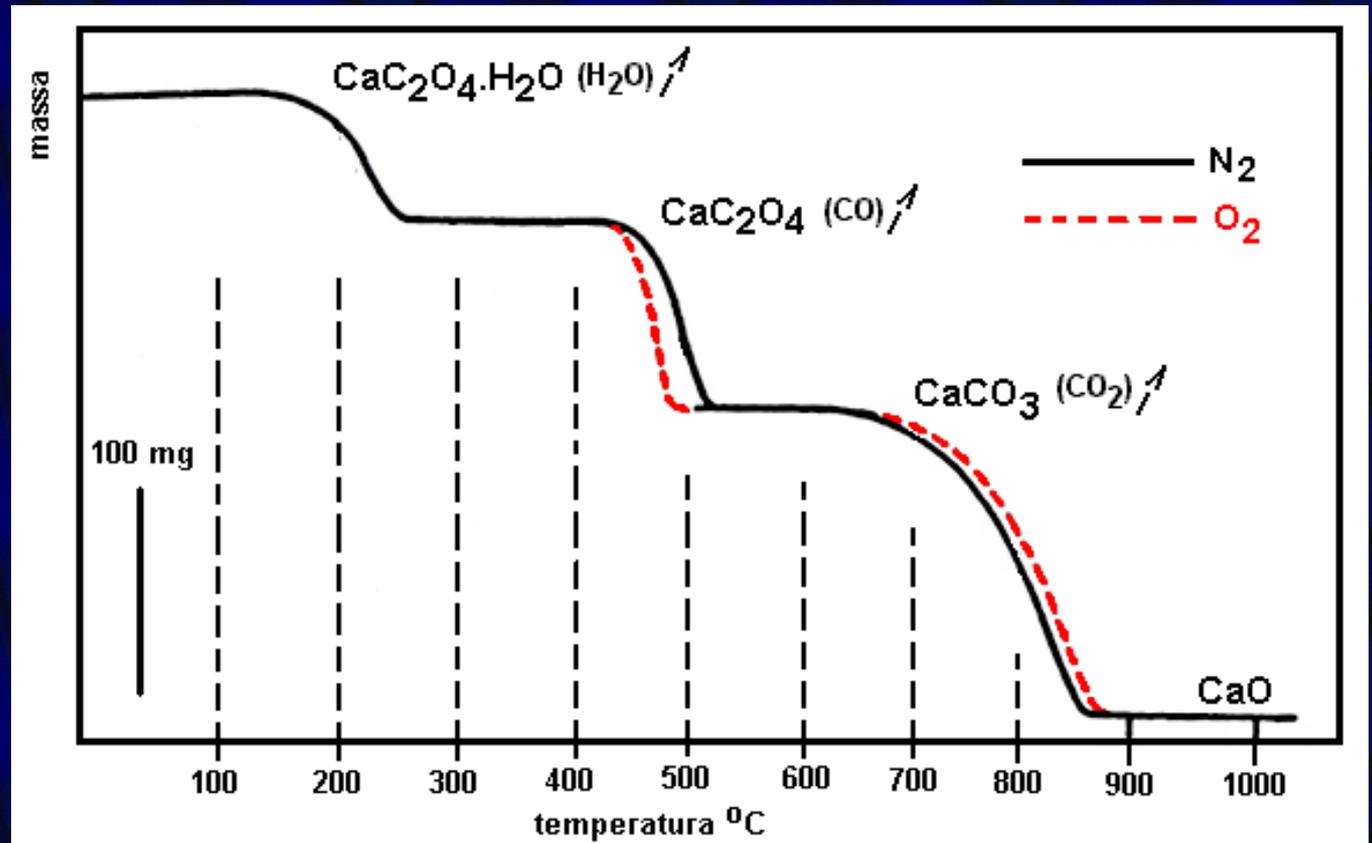
Intermediários

Apoio de Difração R-X



Fatores que Afetam a Curva TG

ATMOSFERA



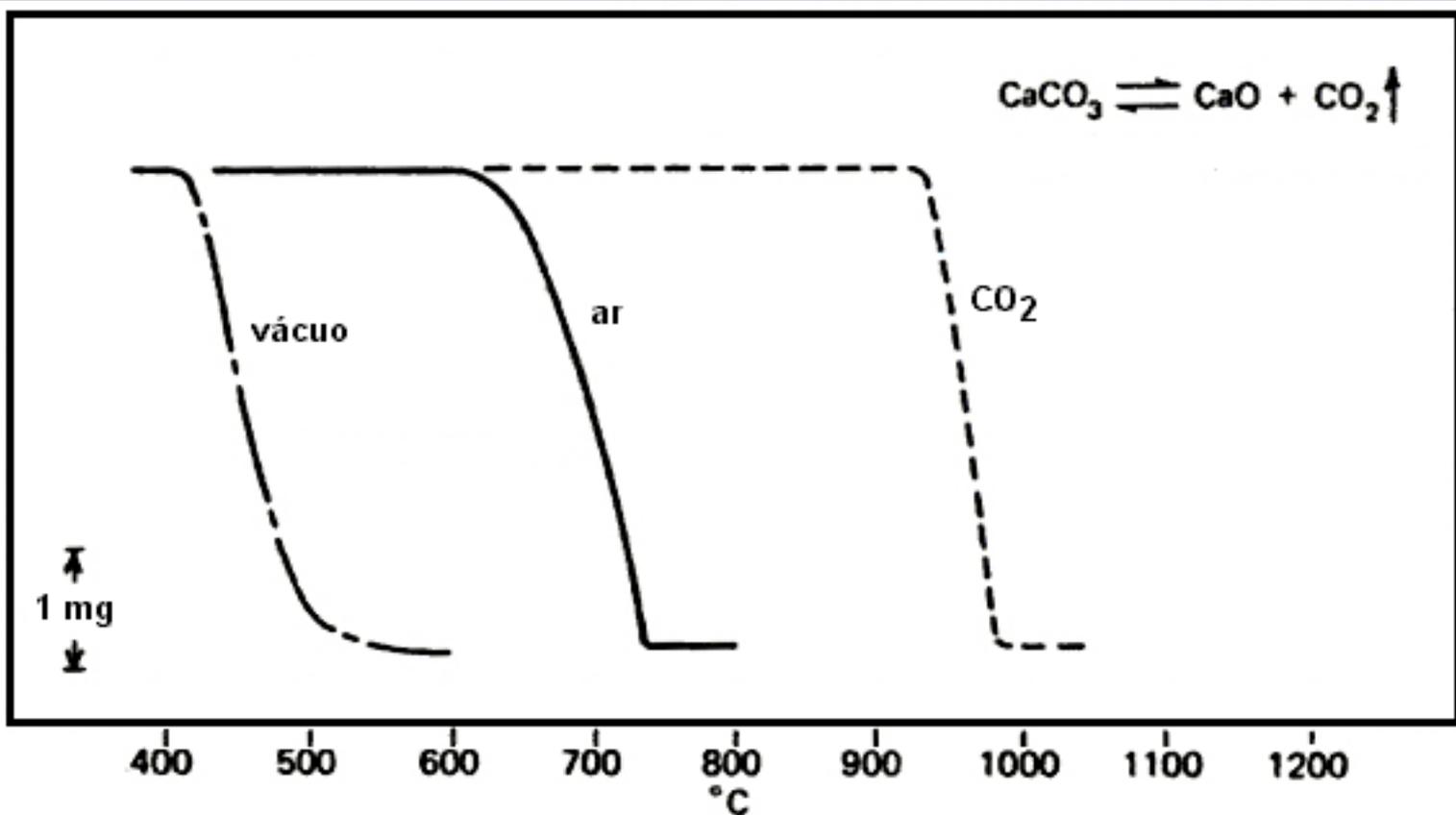
Etapa 1 – não é afetada. N_2 e O_2 carregam o vapor.

Etapa 2 – O_2 reage com CO , acelerando a decomposição (exotérmica)

Etapa 3 – diferença na composição do CaCO_3 formado na etapa 2 sob N_2 e O_2

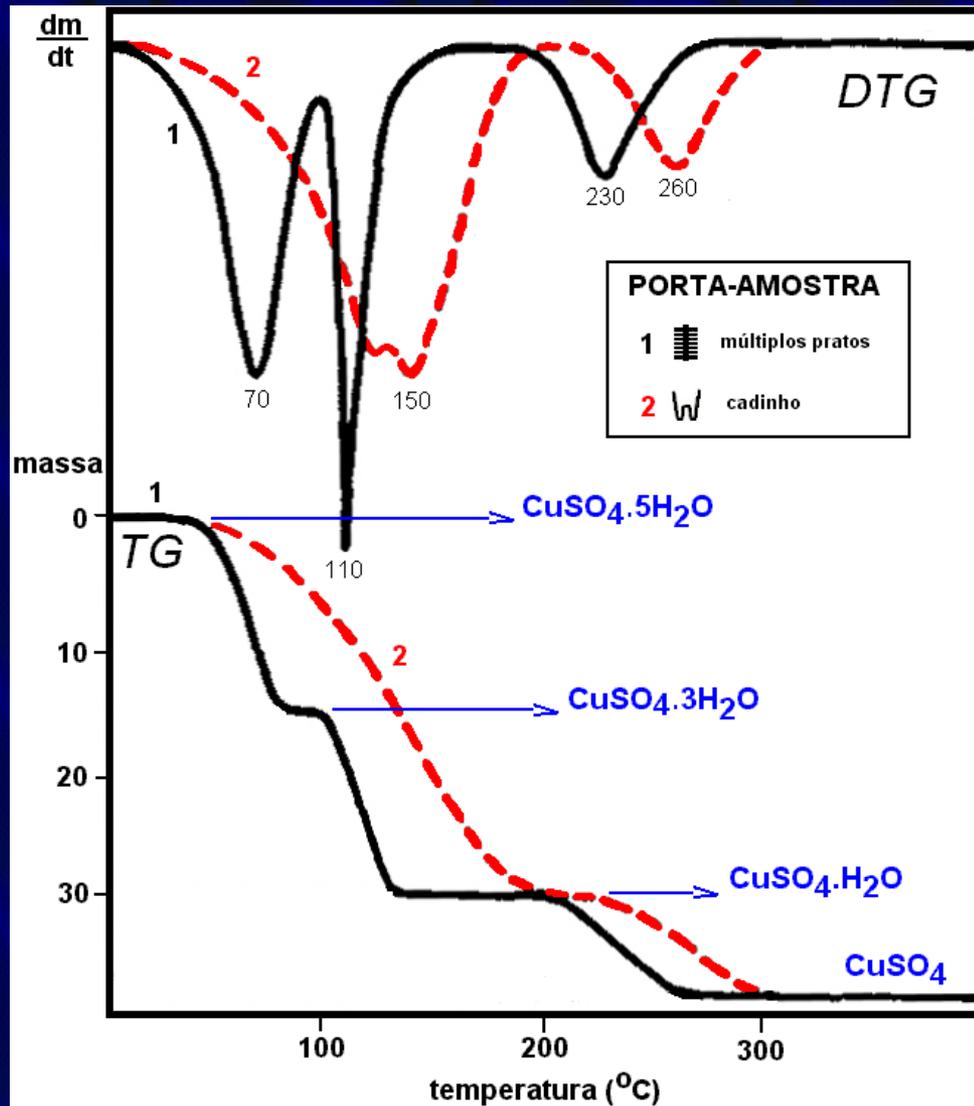
Fatores que Afetam a Curva TG

ATMOSFERA



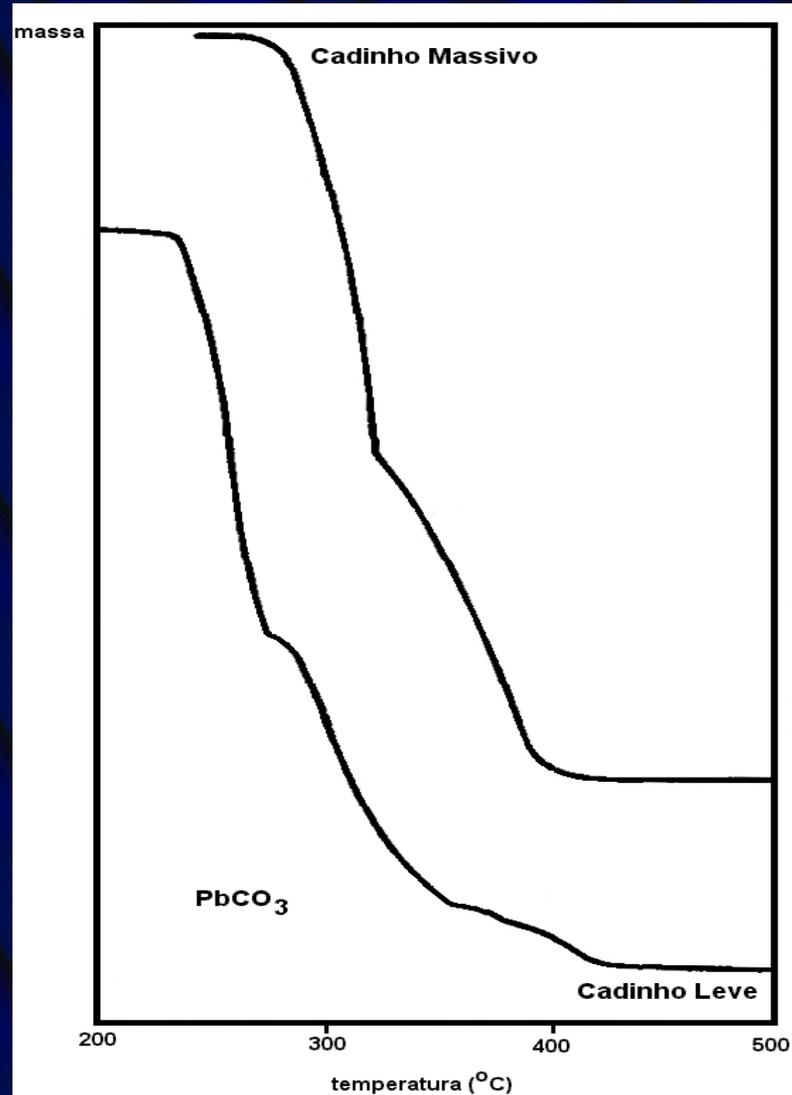
Fatores que Afetam a Curva TG

PORTA-AMOSTRA



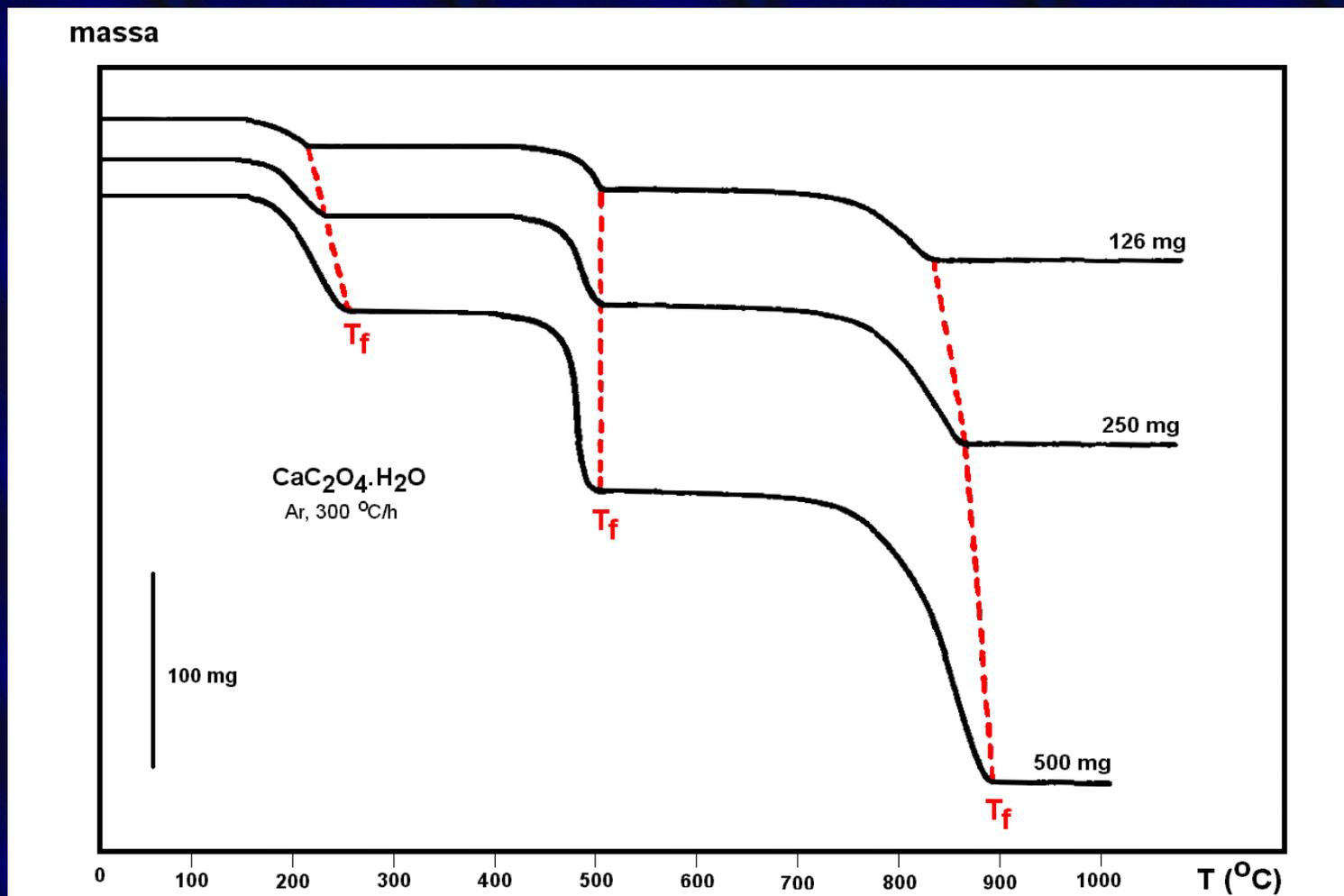
Fatores que Afetam a Curva TG

PORTA-AMOSTRA



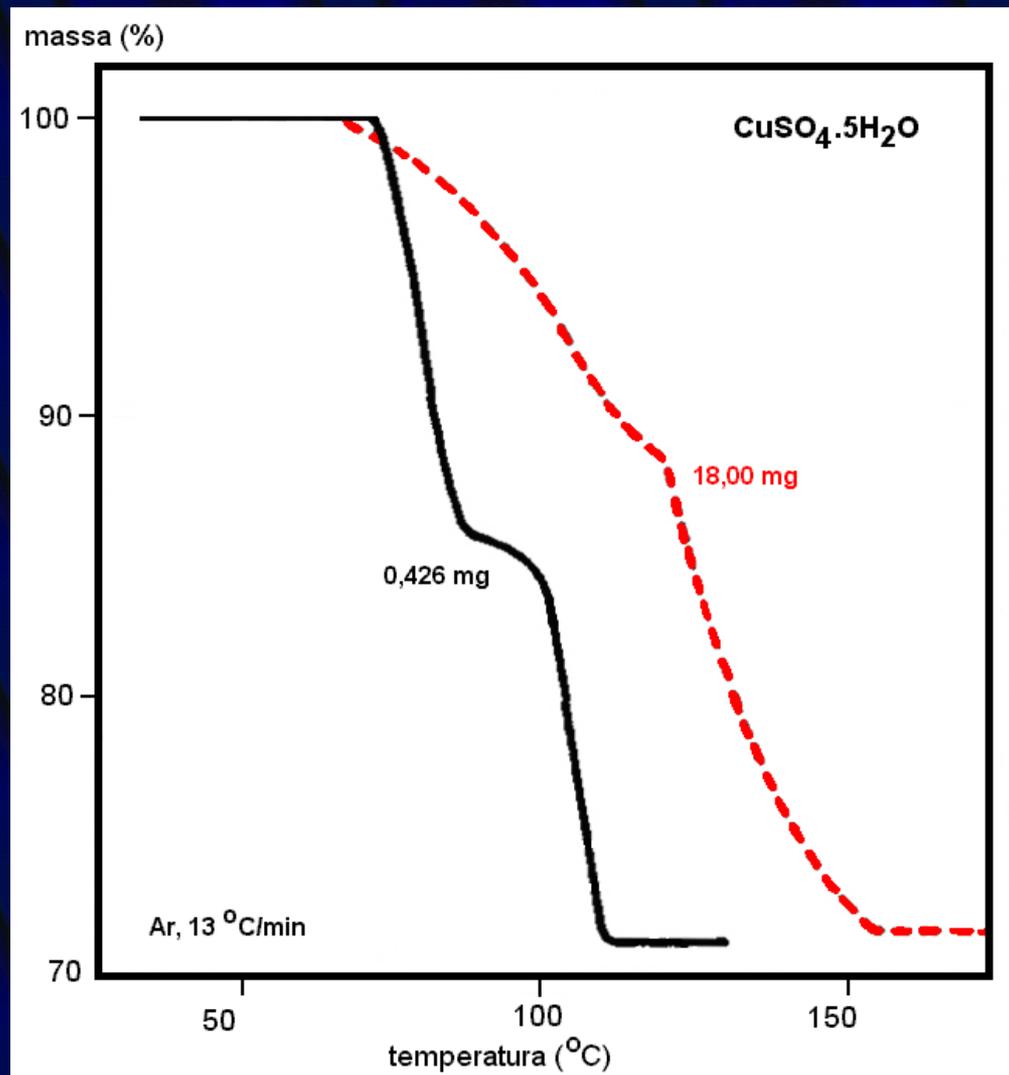
Fatores que Afetam a Curva TG

QUANTIDADE DE AMOSTRA



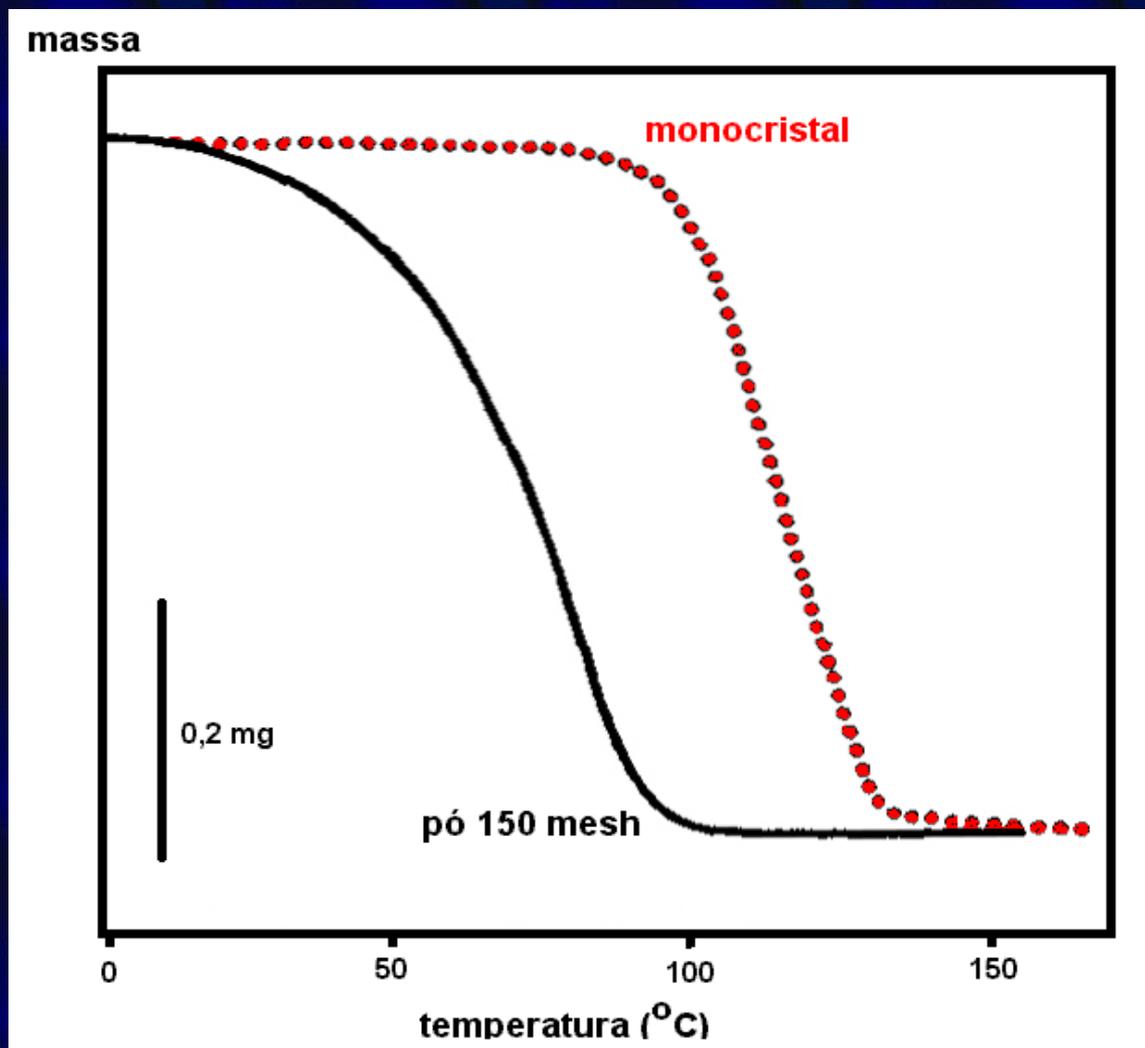
Fatores que Afetam a Curva TG

QUANTIDADE DE AMOSTRA



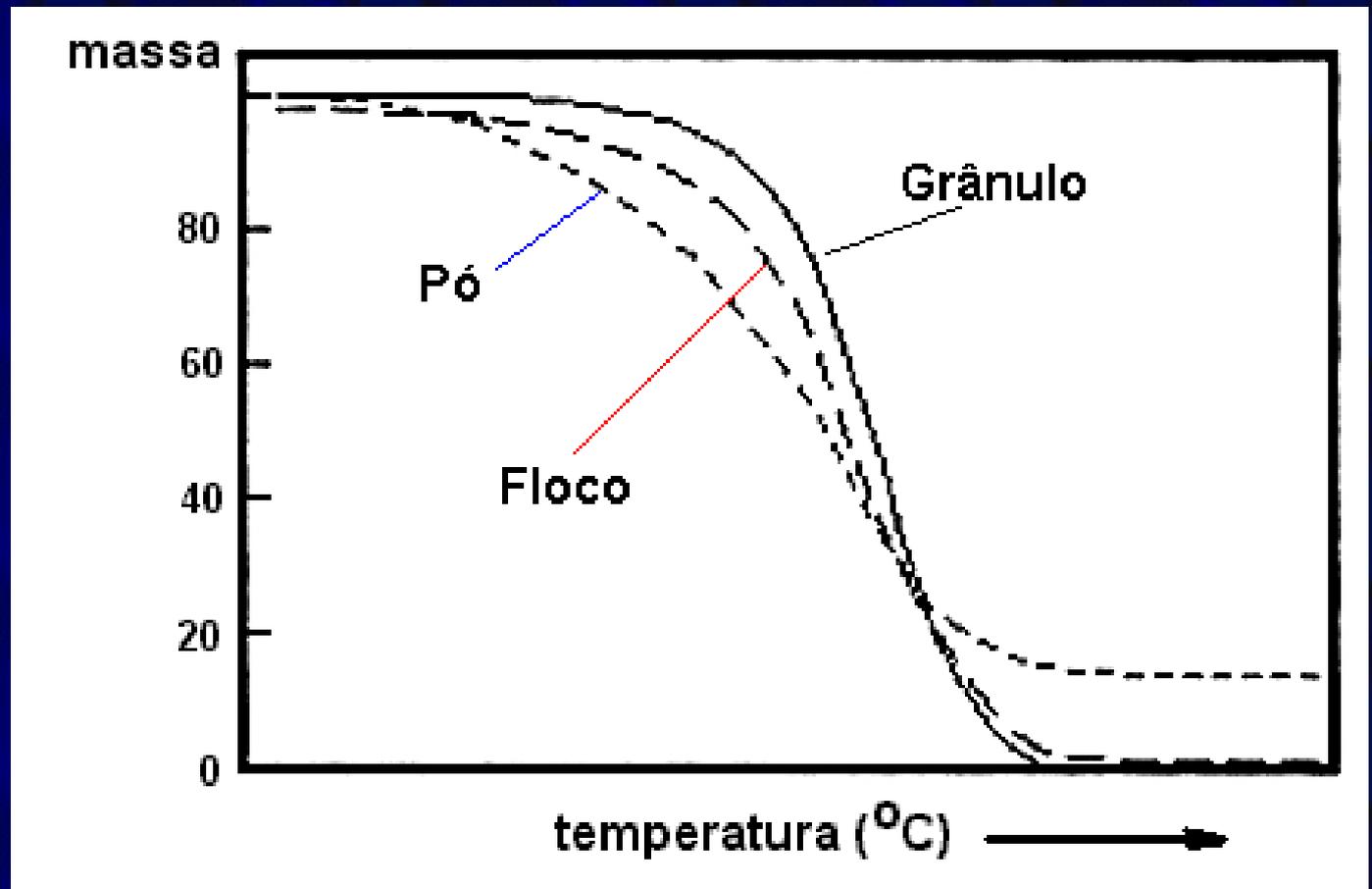
Fatores que Afetam a Curva TG

TAMANHO E FORMA DA PARTÍCULA



Fatores que Afetam a Curva TG

TAMANHO E FORMA DA PARTÍCULA

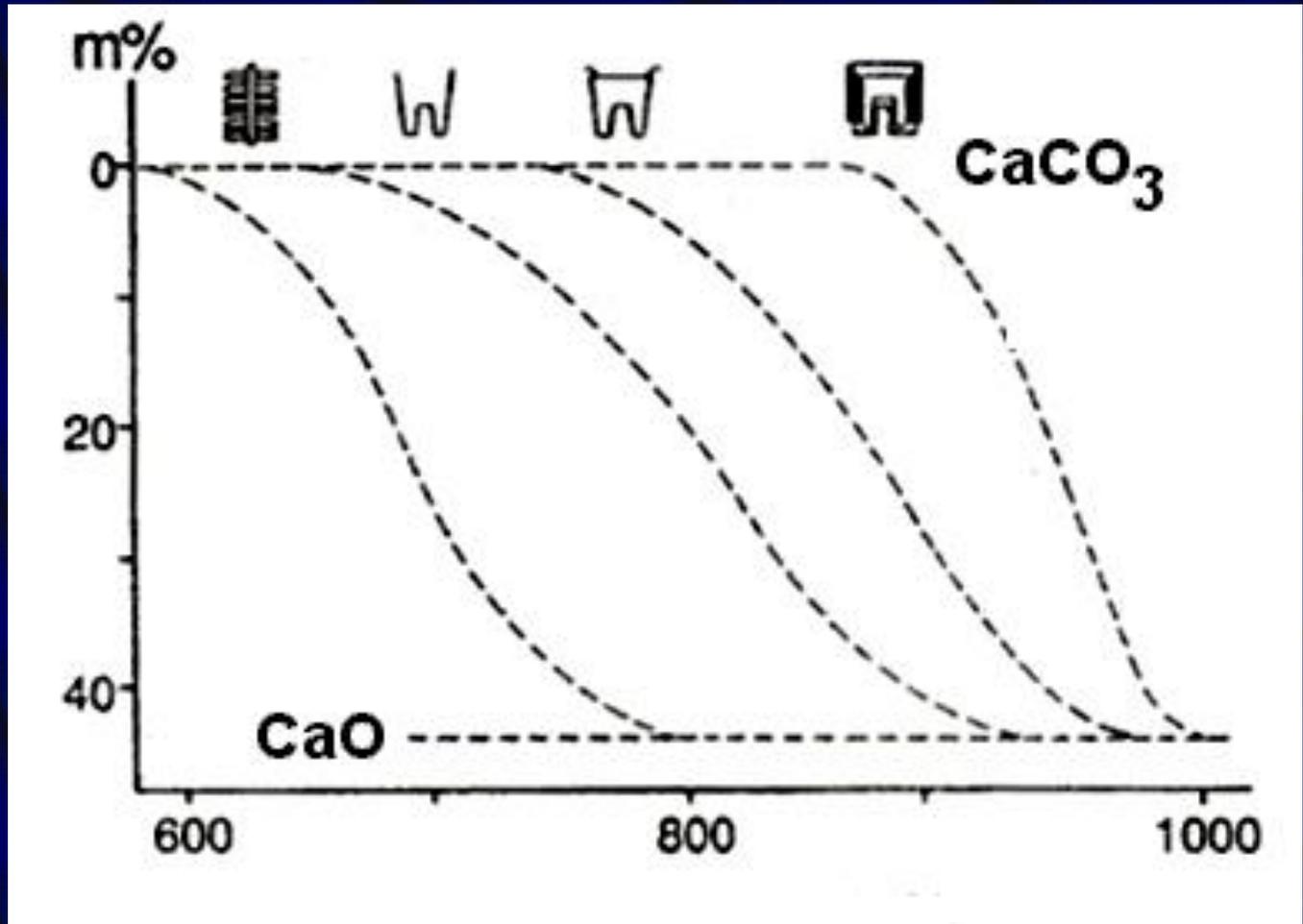


Fatores que Afetam a Curva TG

CONTATO PORTA-AMOSTRA/ATMOSFERA

CALOR DE REAÇÃO

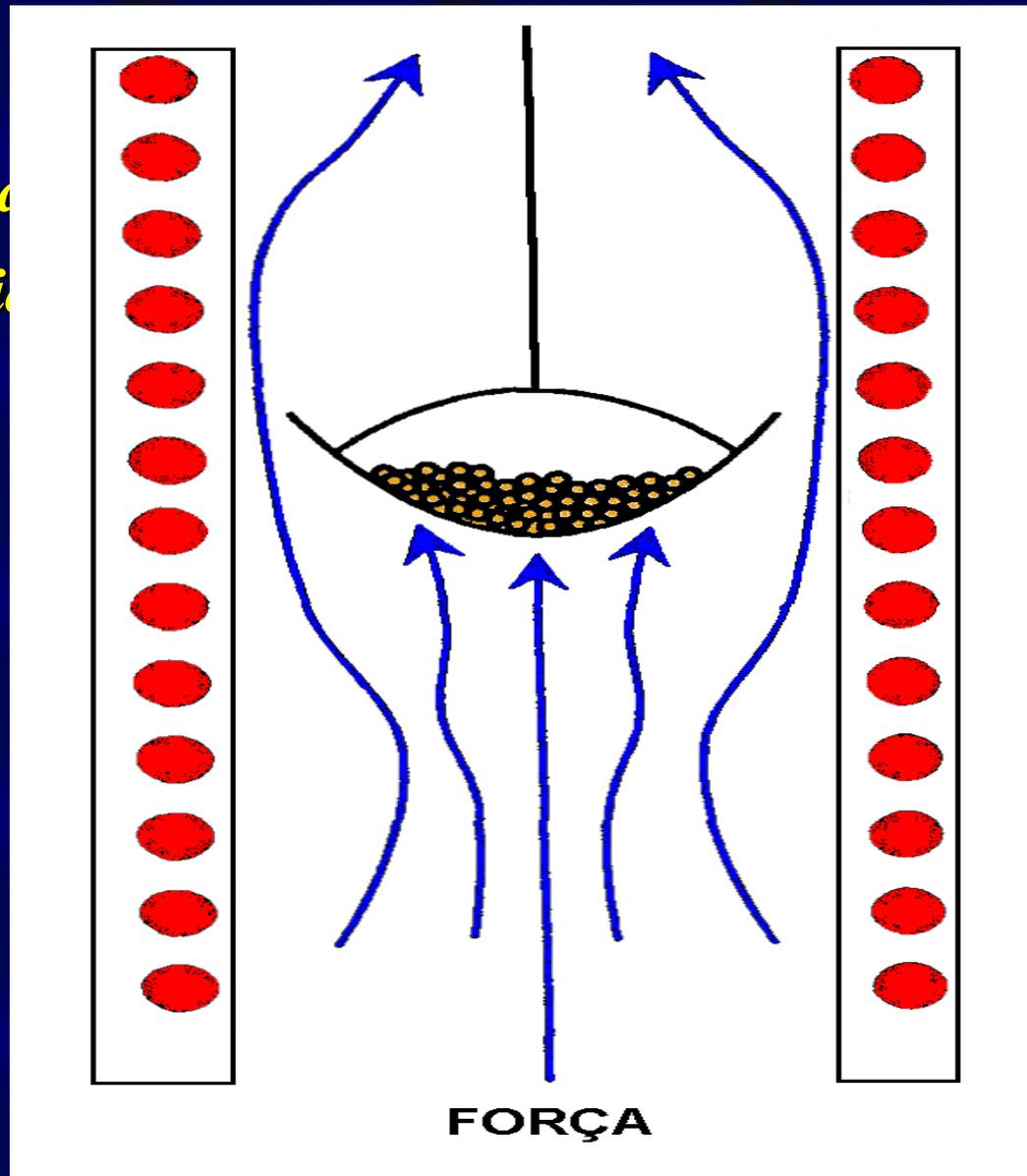
*CONDUTIVIDADE
TÉRMICA*



Fatores de Erro em TG

- *Instabilidade na atmosfera nas imediações do porta-amostra*
- *Turbulência e correntes de convecção*

- Instabilidade
- Turbulência



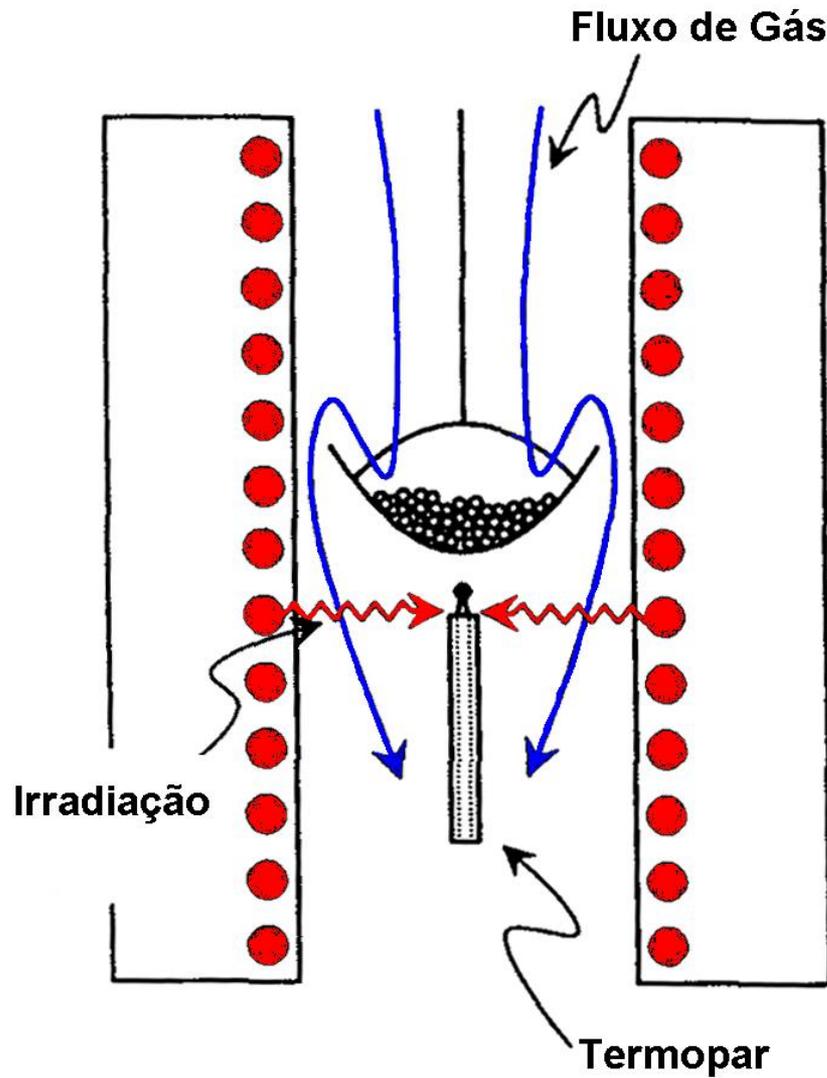
amostra

Fatores de Erro em TG

- *Instabilidade na atmosfera nas imediações do porta-amostra*
- *Turbulência e correntes de convecção*
- *Medida de temperatura*

- Instabilidade
- Turbulência
- Medida de t

- amostra

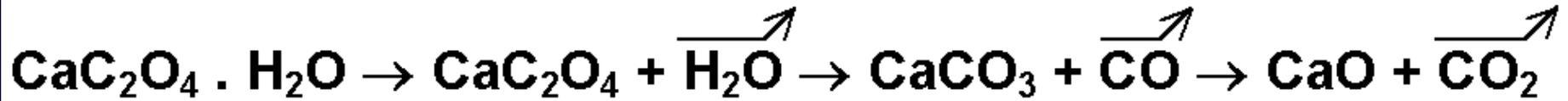


Fatores de Erro em TG

- *Instabilidade na atmosfera nas imediações do porta-amostra*
- *Turbulência e correntes de convecção*
- *Medida de temperatura*
- *Condensação no suporte da amostra*
- *Reação da amostra com o porta-amostras*
- *Flutuações de temperatura*

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

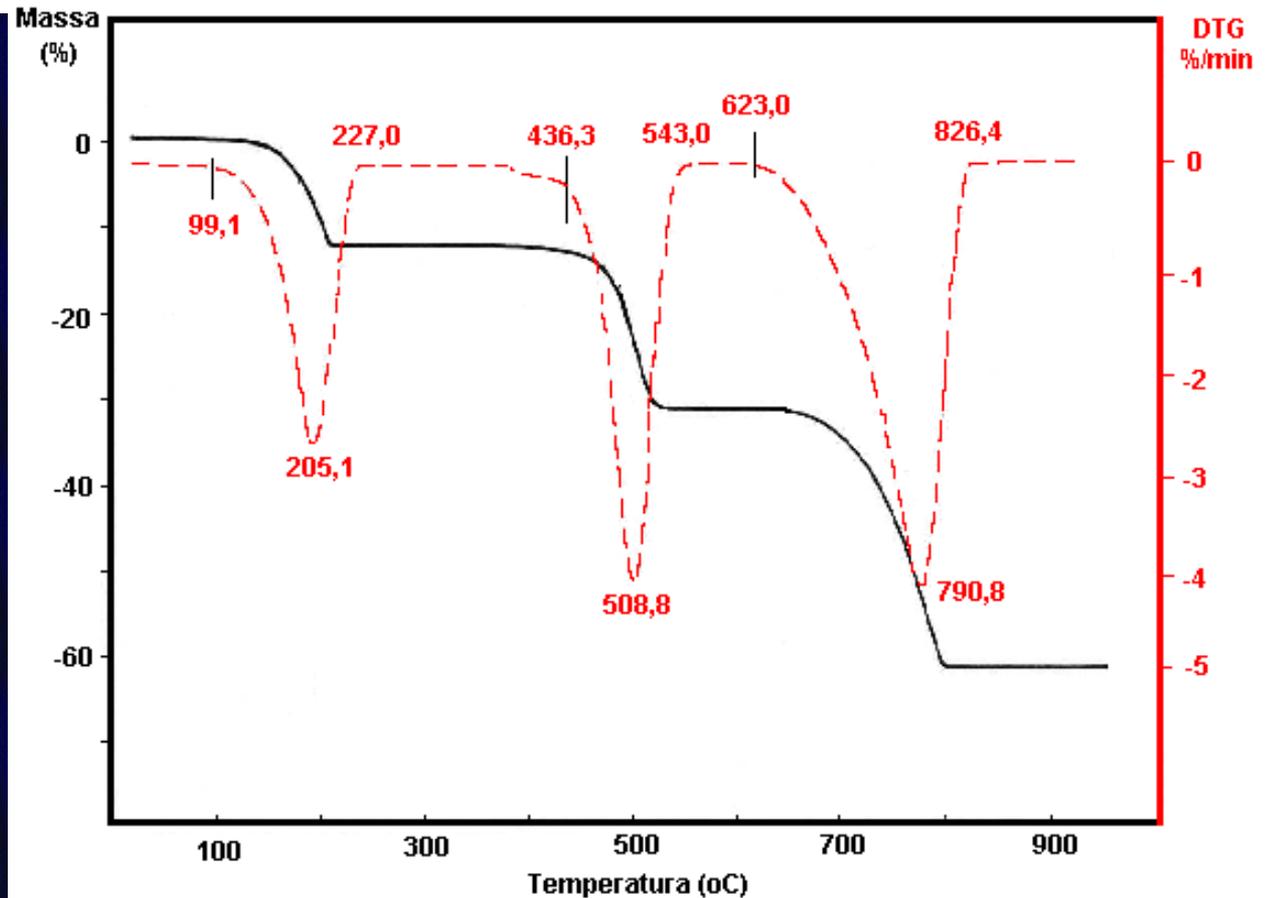
Decomposição do Oxalato de Cálcio



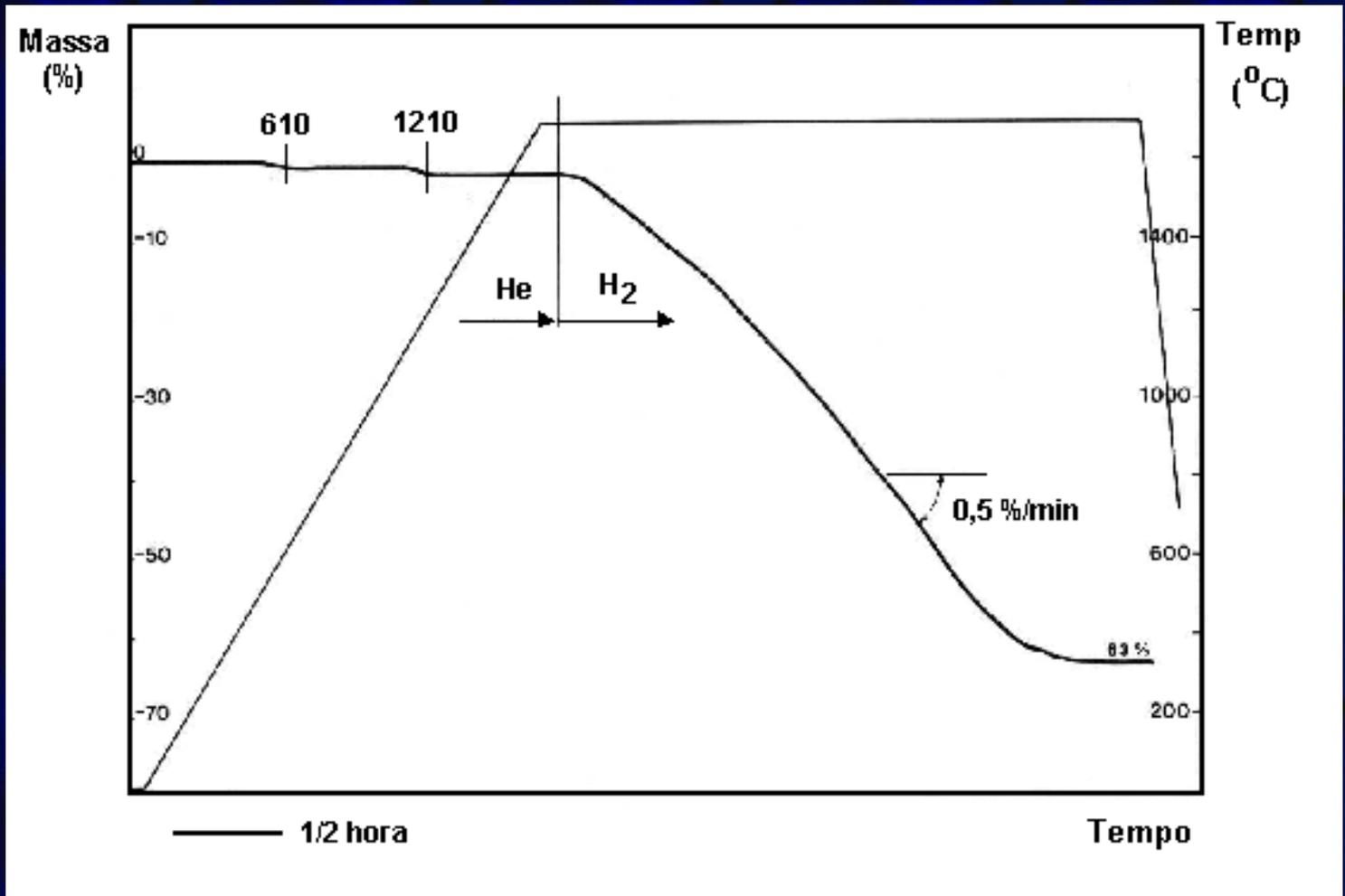
Teórico: **TG:**
H₂O – 12,2 **12,3**
CO – 19,1 **18,2**
CO₂ – 30,1 **30,3**

37,6 mg
cadinho alumina
Hélio
5 K/min

*Apoio de
EGD/EGA*



Cinética de Reação C + H₂

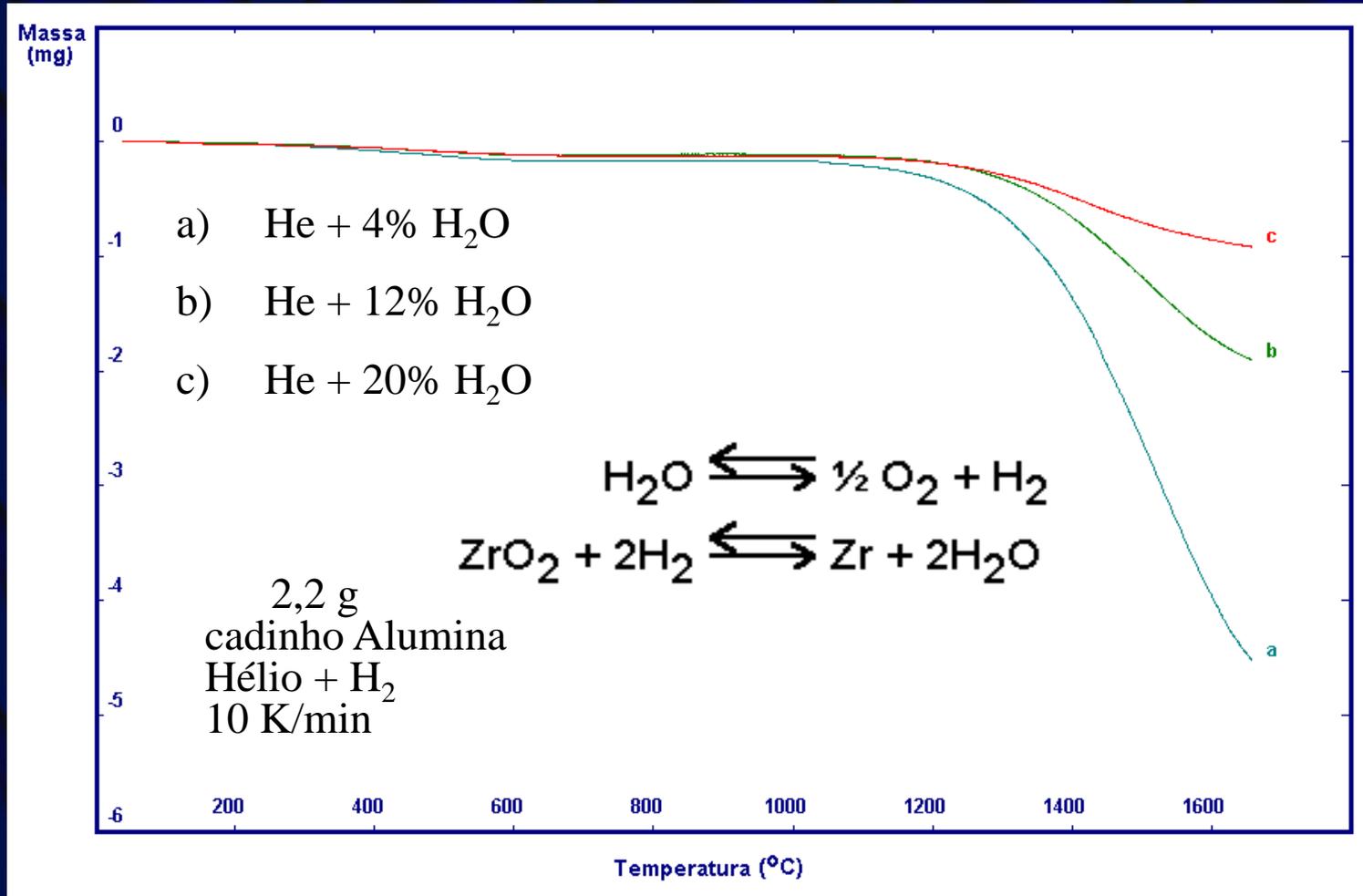


32,2 mg
cadinho W
Hélio e H₂

15 K/min e Isotérmico (2,5 horas)

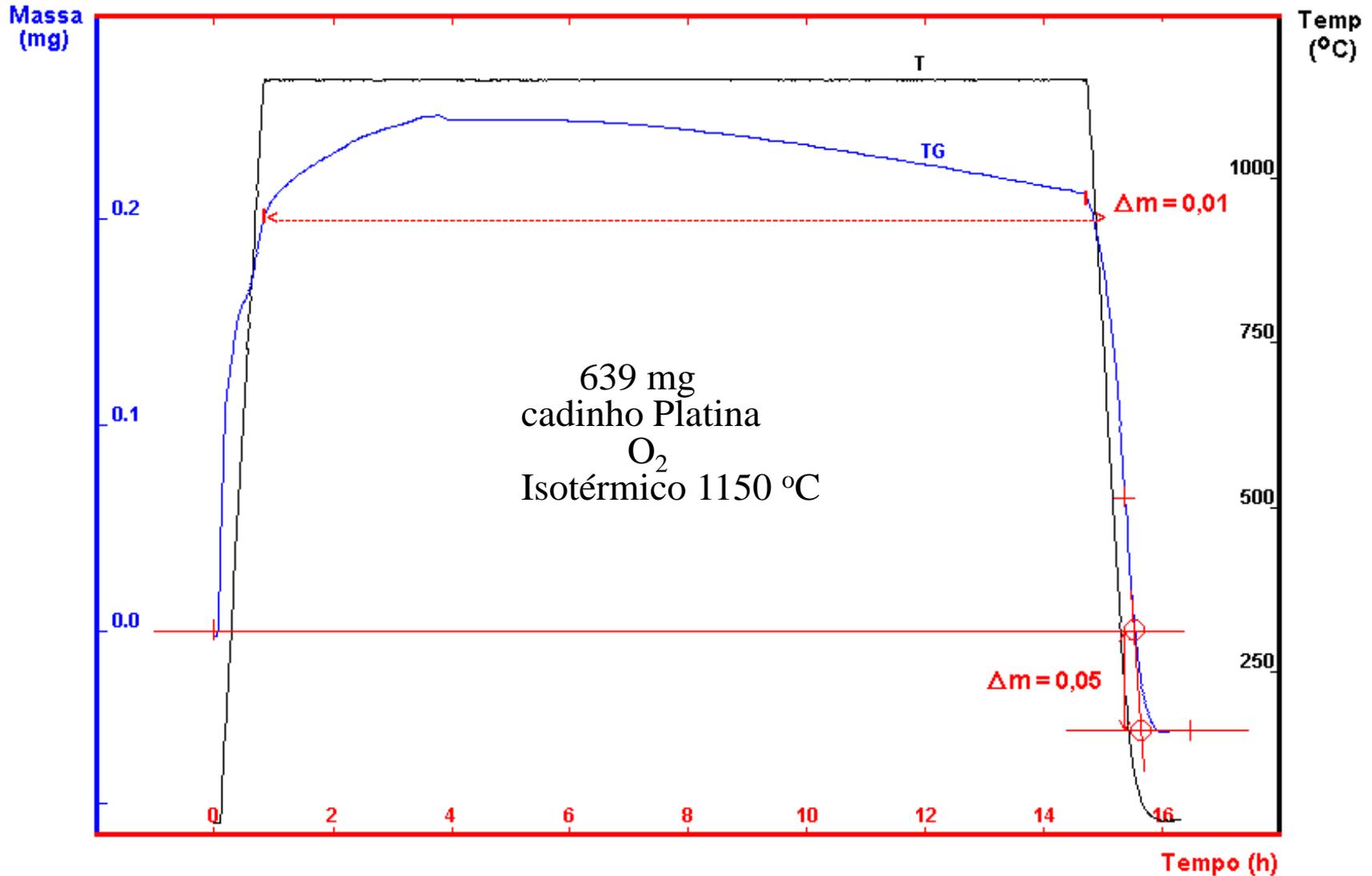
Perda de voláteis e formação CH₄ a 0,5 %/min

Estabilidade da Zircônia sob Vapor

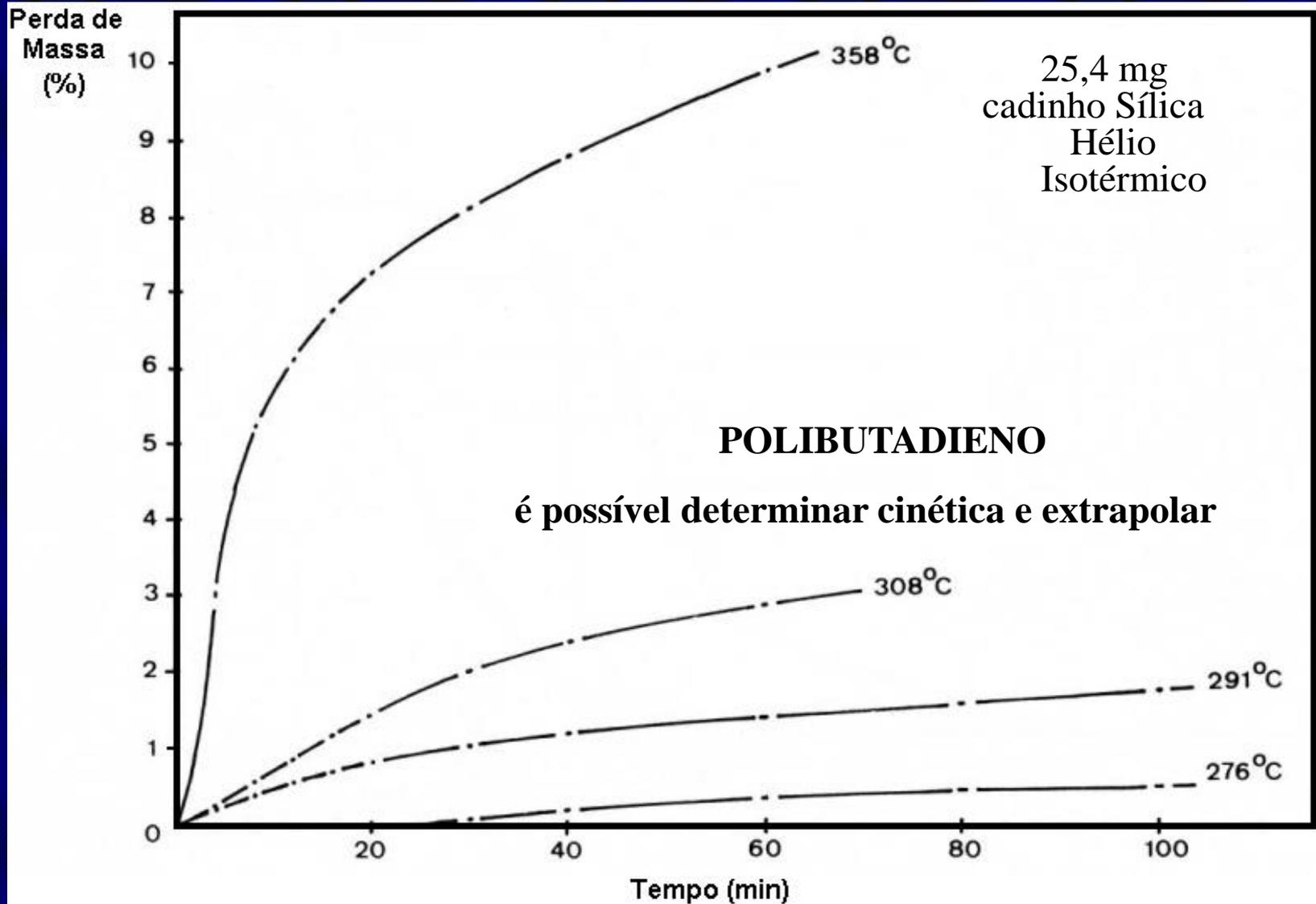


quanto mais água, maior é a estabilidade

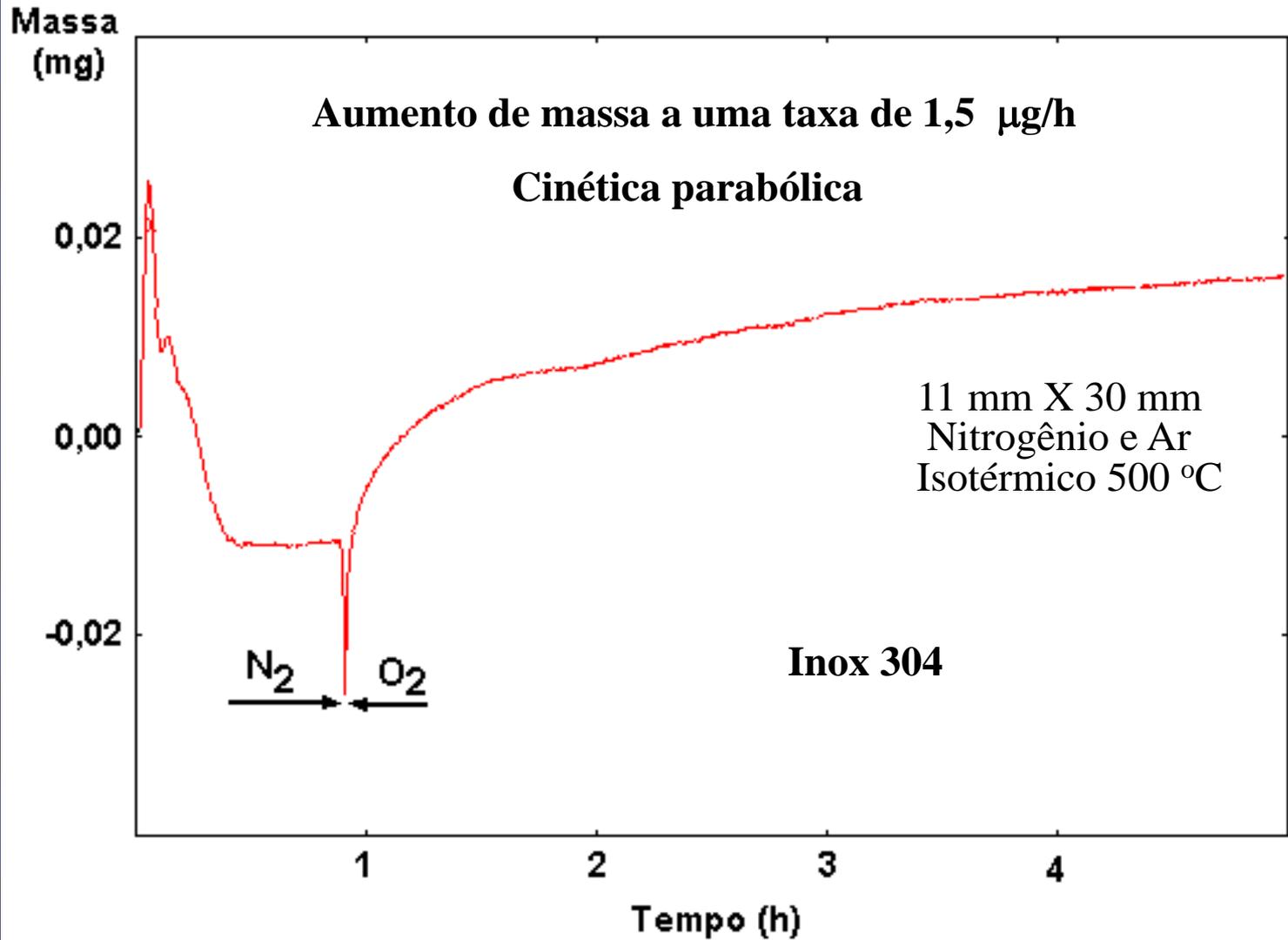
Estabilidade do SiC sob Oxigênio



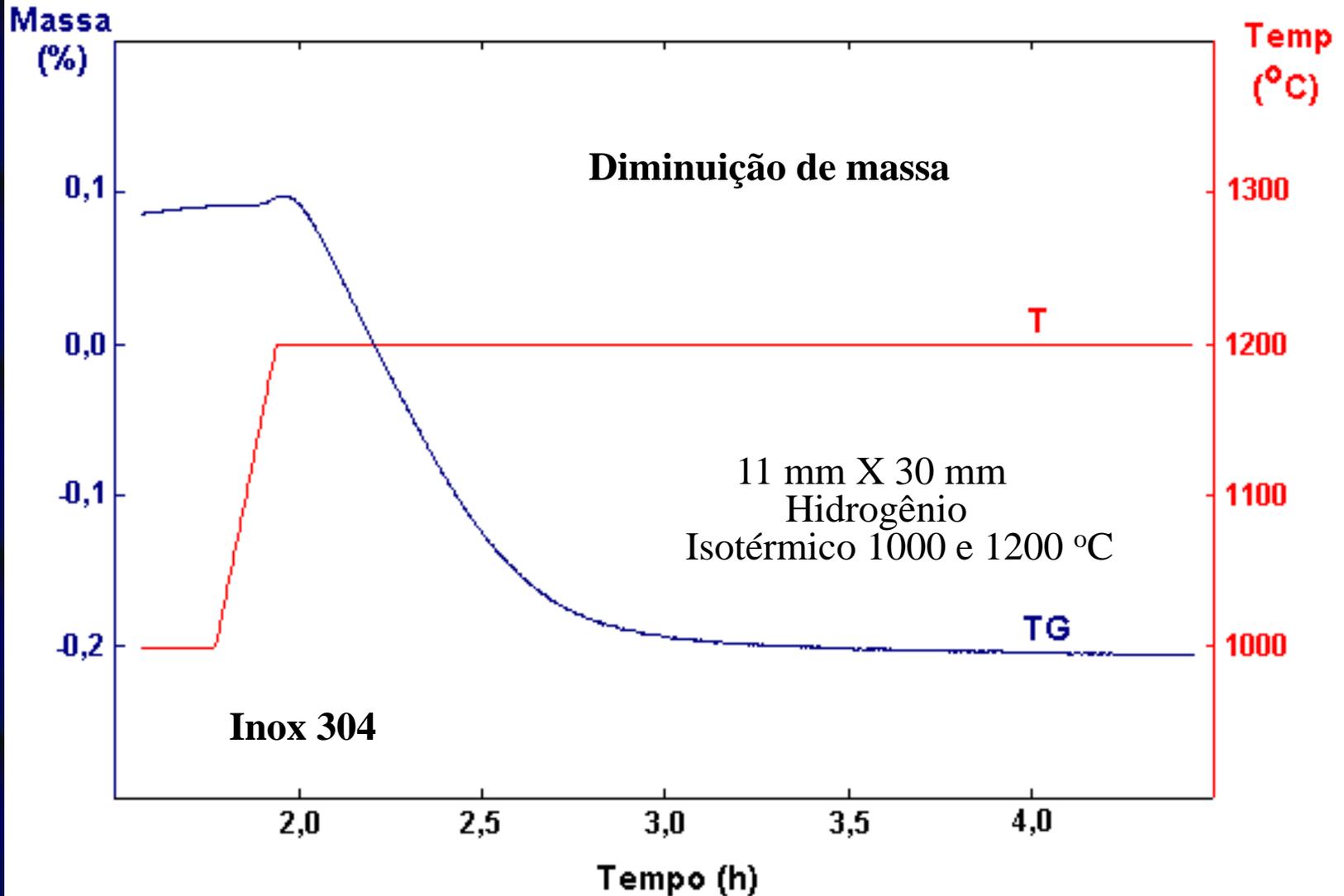
Estabilidade Isotérmica de um Elastômero



Oxidação

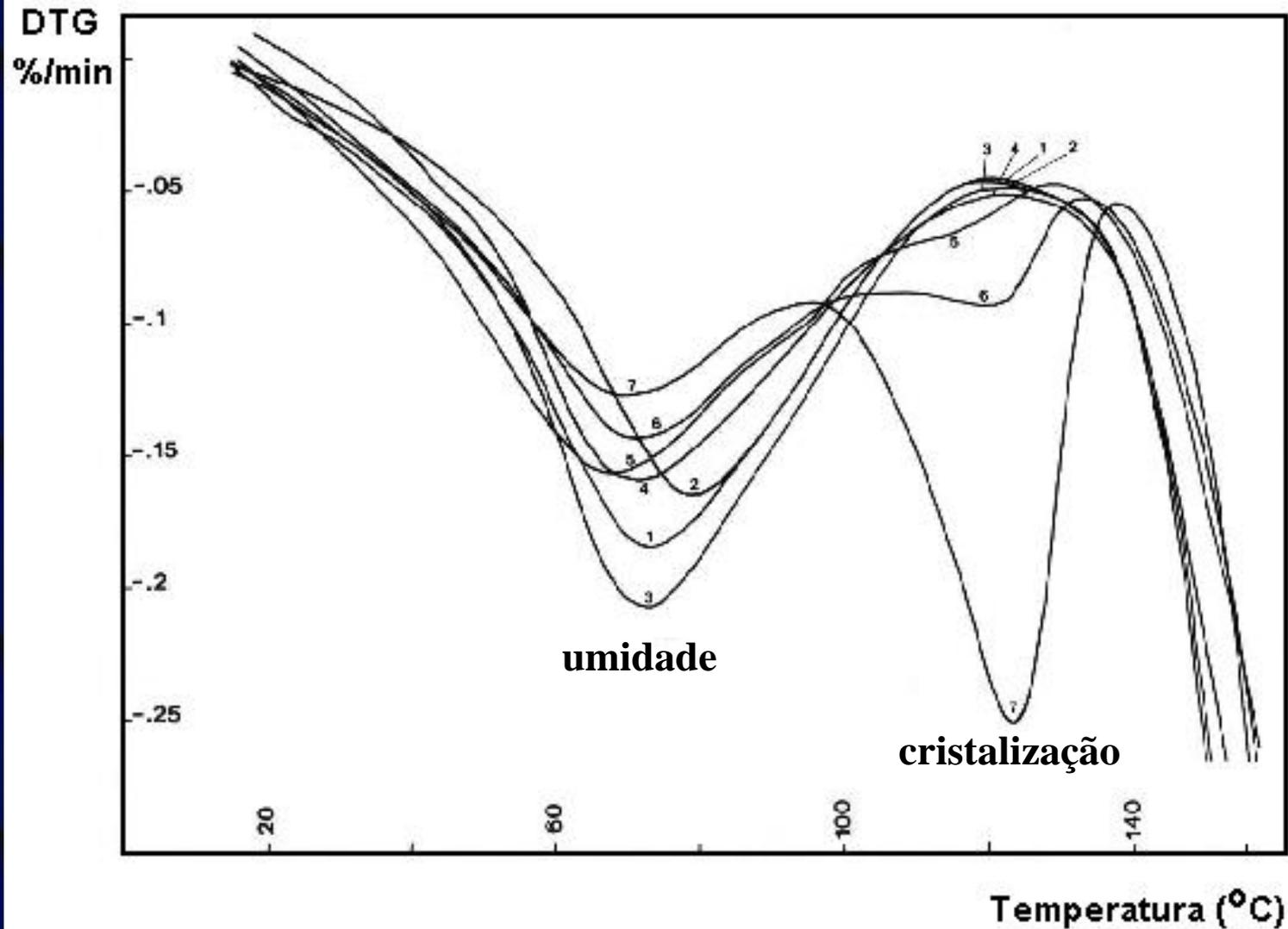


Redução

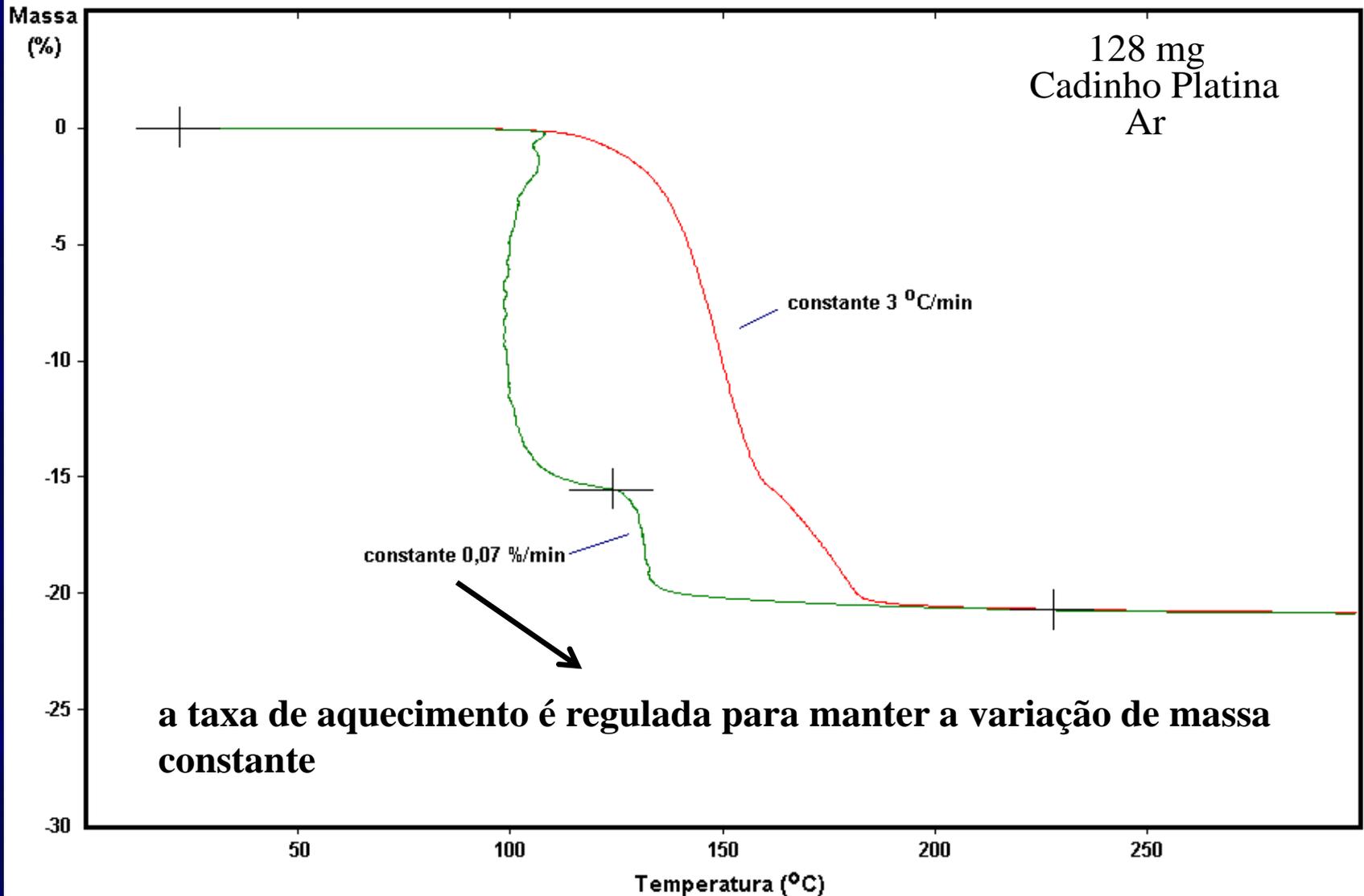


Determinação de Água em Leite

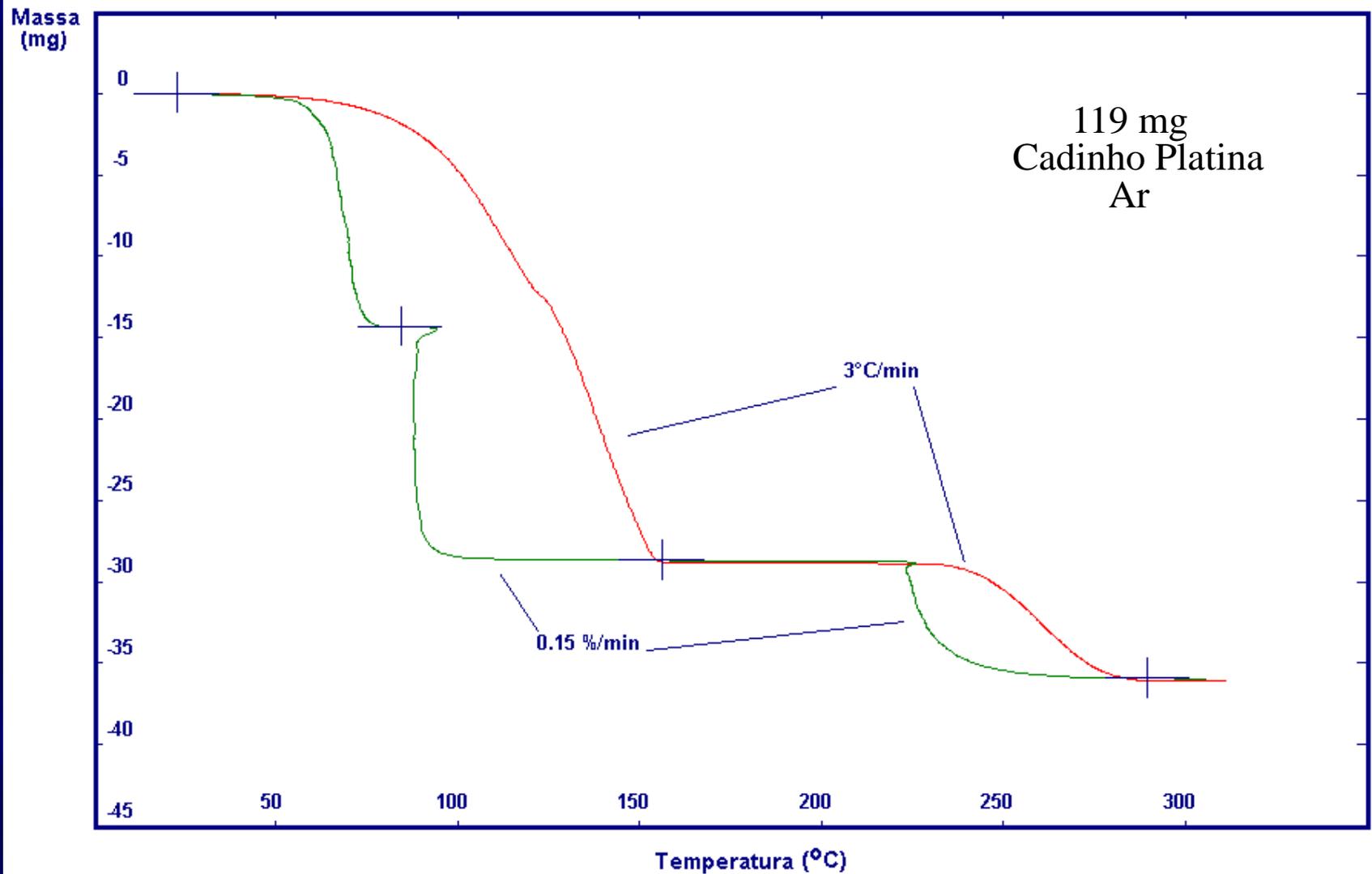
Hélio
2 K/min



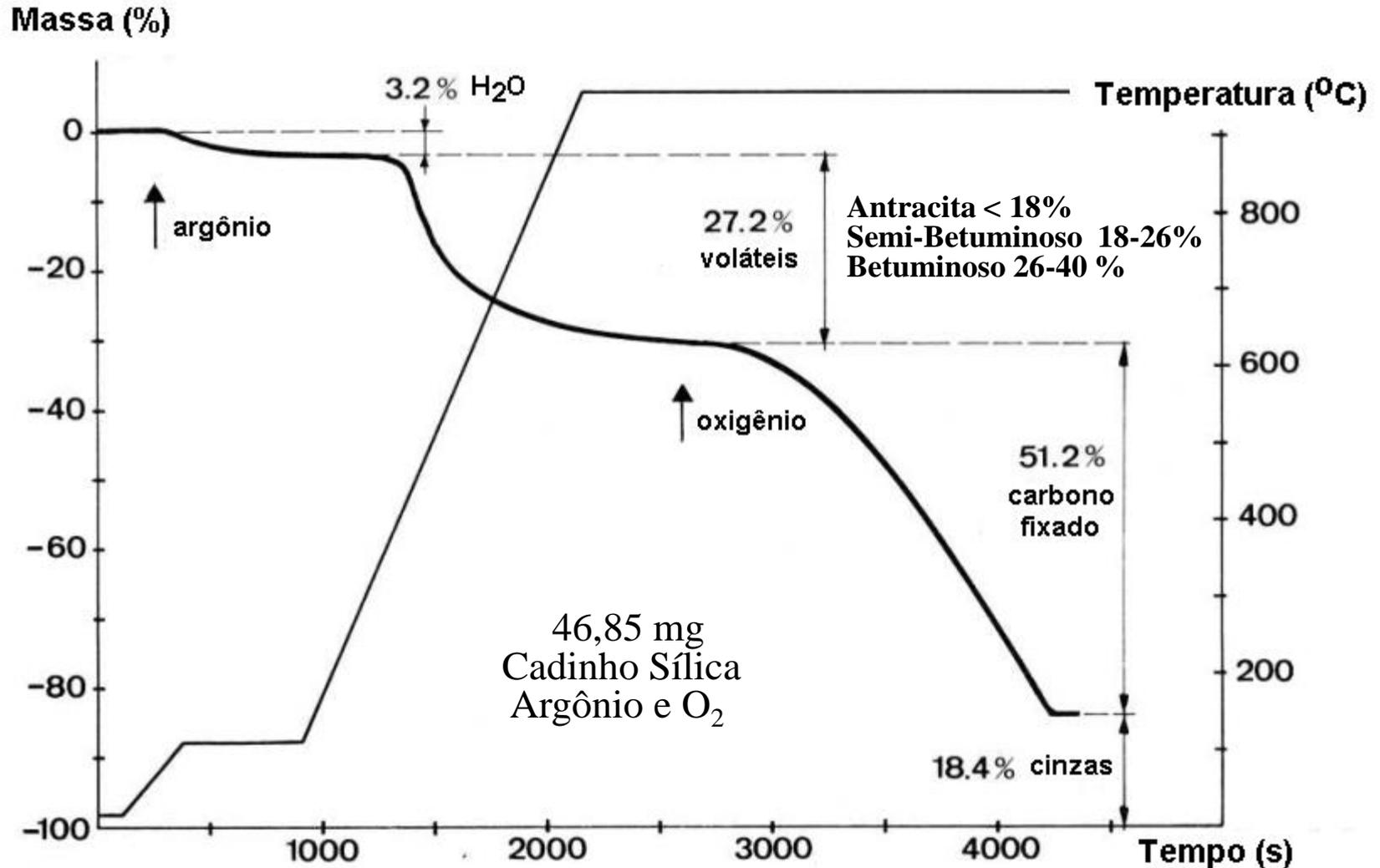
Decomposição do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



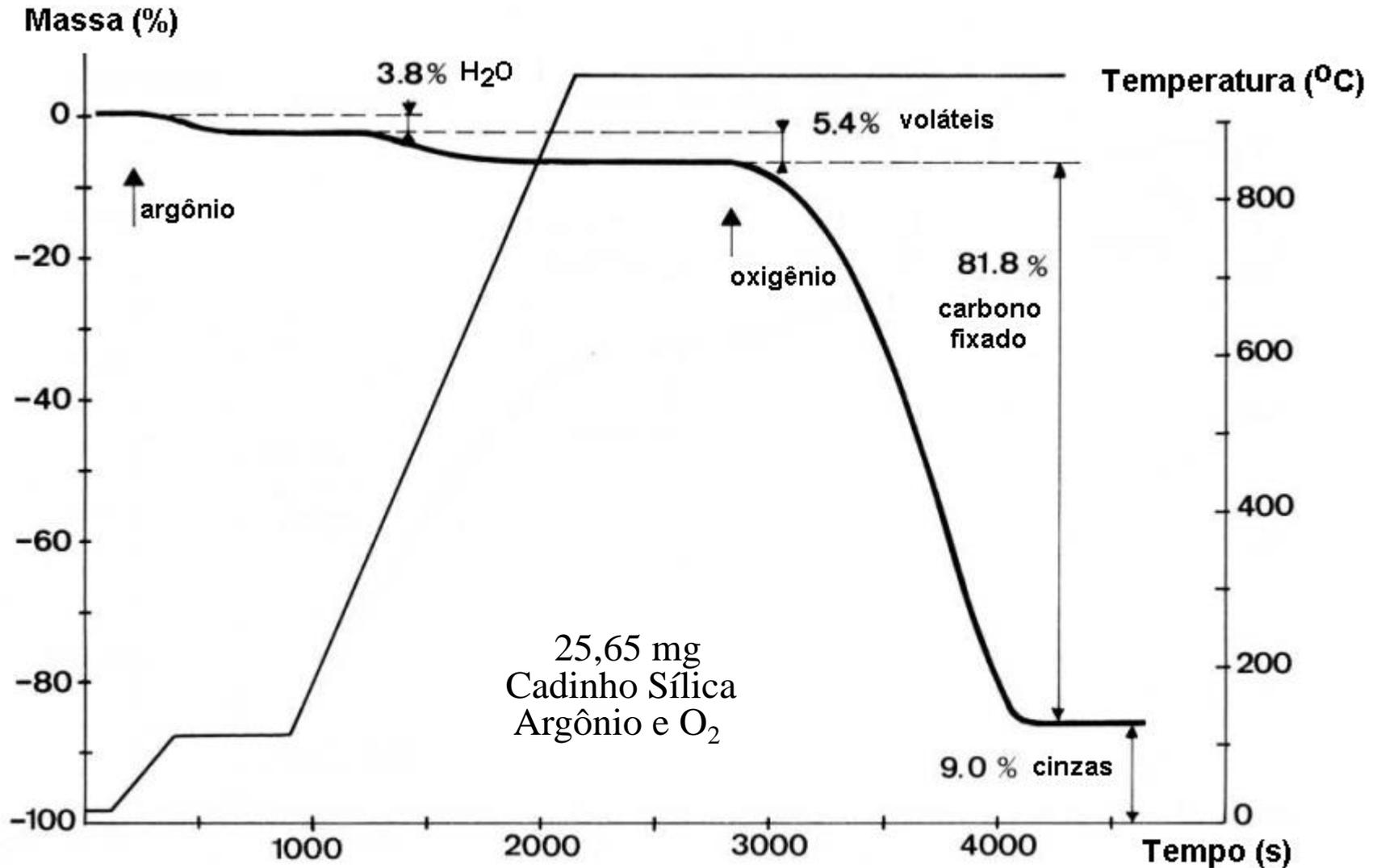
Decomposição do $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



Análise de Carvão Betuminoso

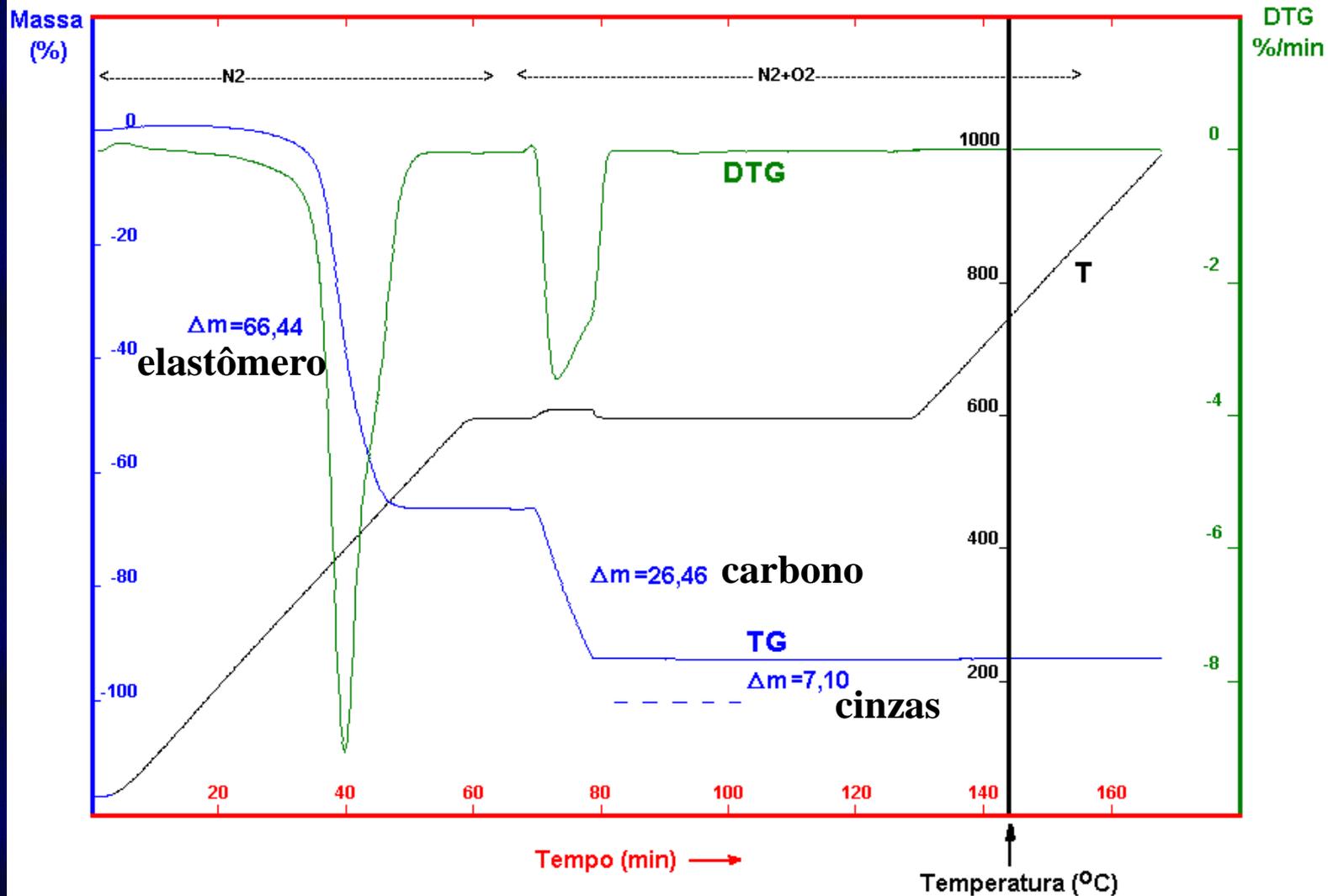


Análise de Carvão Antracita

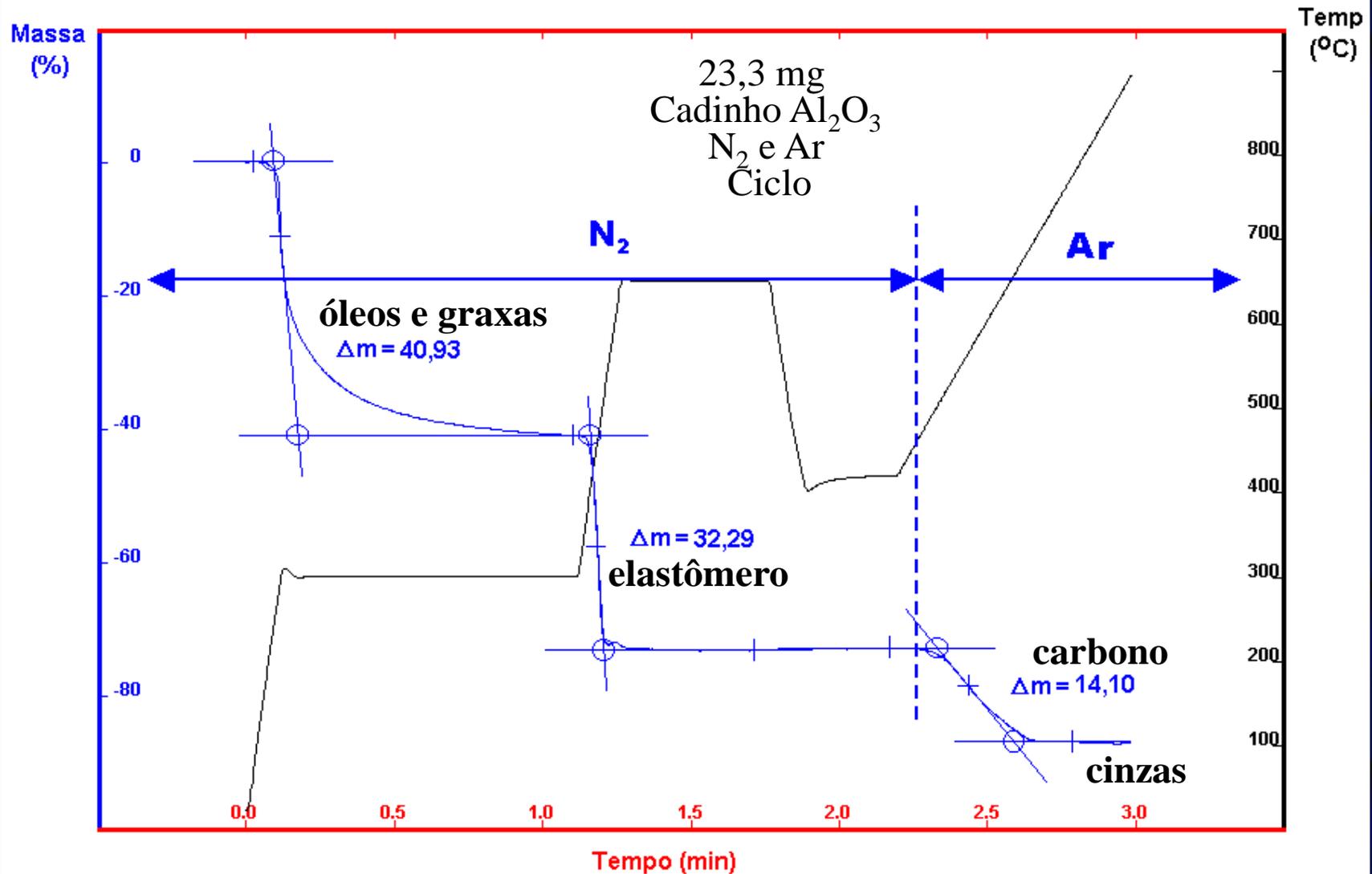


Decomposição de Pneu

25,65 mg
Cadinho Al_2O_3
 N_2 e O_2
Ciclo



Decomposição de Borracha



Caracterização Física de Materiais

■ Caracterização Térmica – Análise Térmica

- ◆ Termogravimetria



- ◆ **Análise Térmica Diferencial**



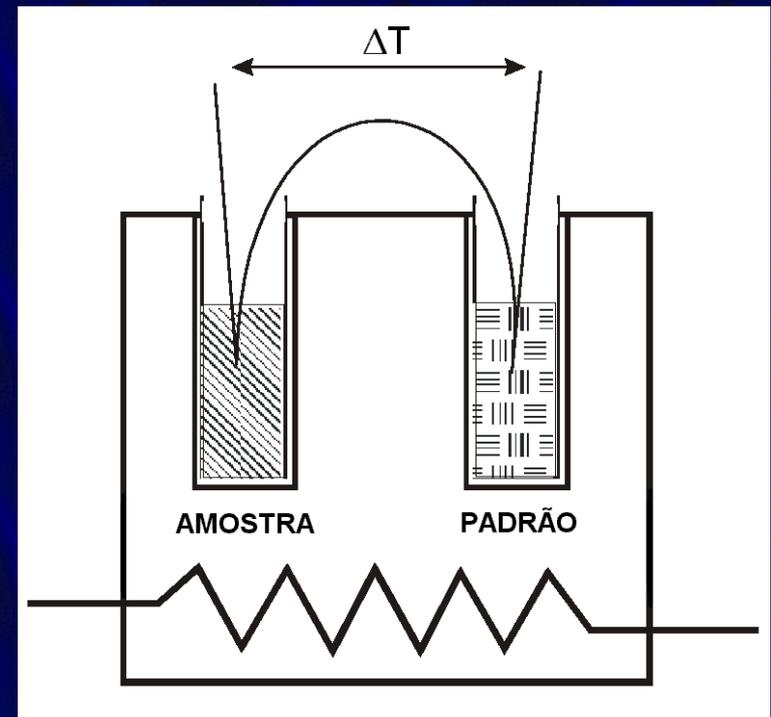
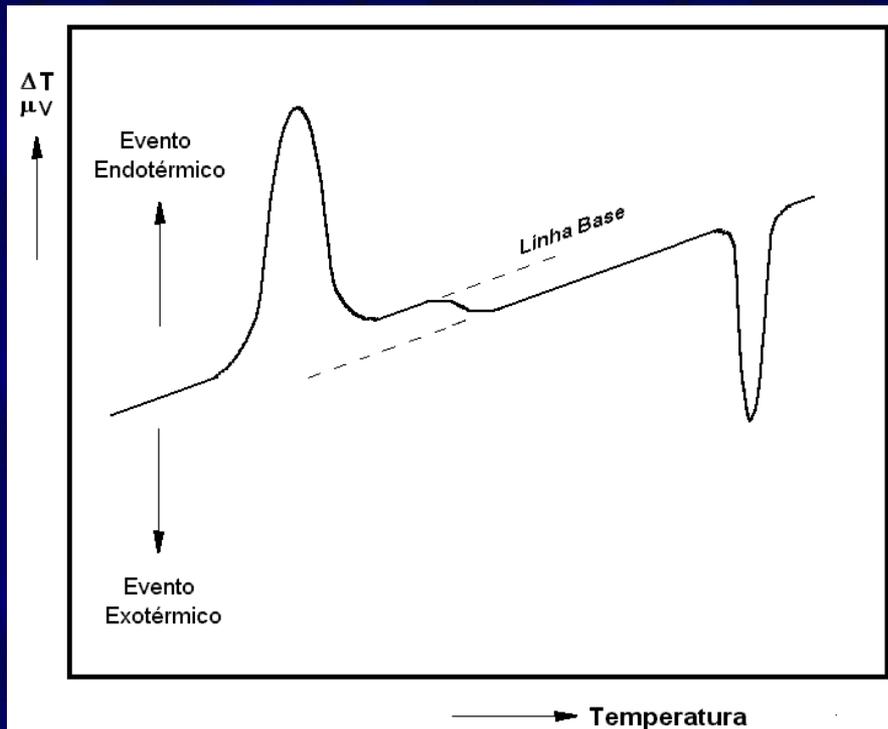
- ◆ **Calorimetria Exploratória Diferencial**

- ◆ Termodilatometria

Análise Térmica Diferencial

Differential Thermal Analysis - DTA

DTA é uma técnica de análise térmica onde a temperatura de uma amostra, quando comparada com a de um material termicamente inerte, é registrada em função da temperatura ou do tempo, à medida que a amostra é aquecida ou resfriada.



Análise Térmica Diferencial

Differential Thermal Analysis - DTA

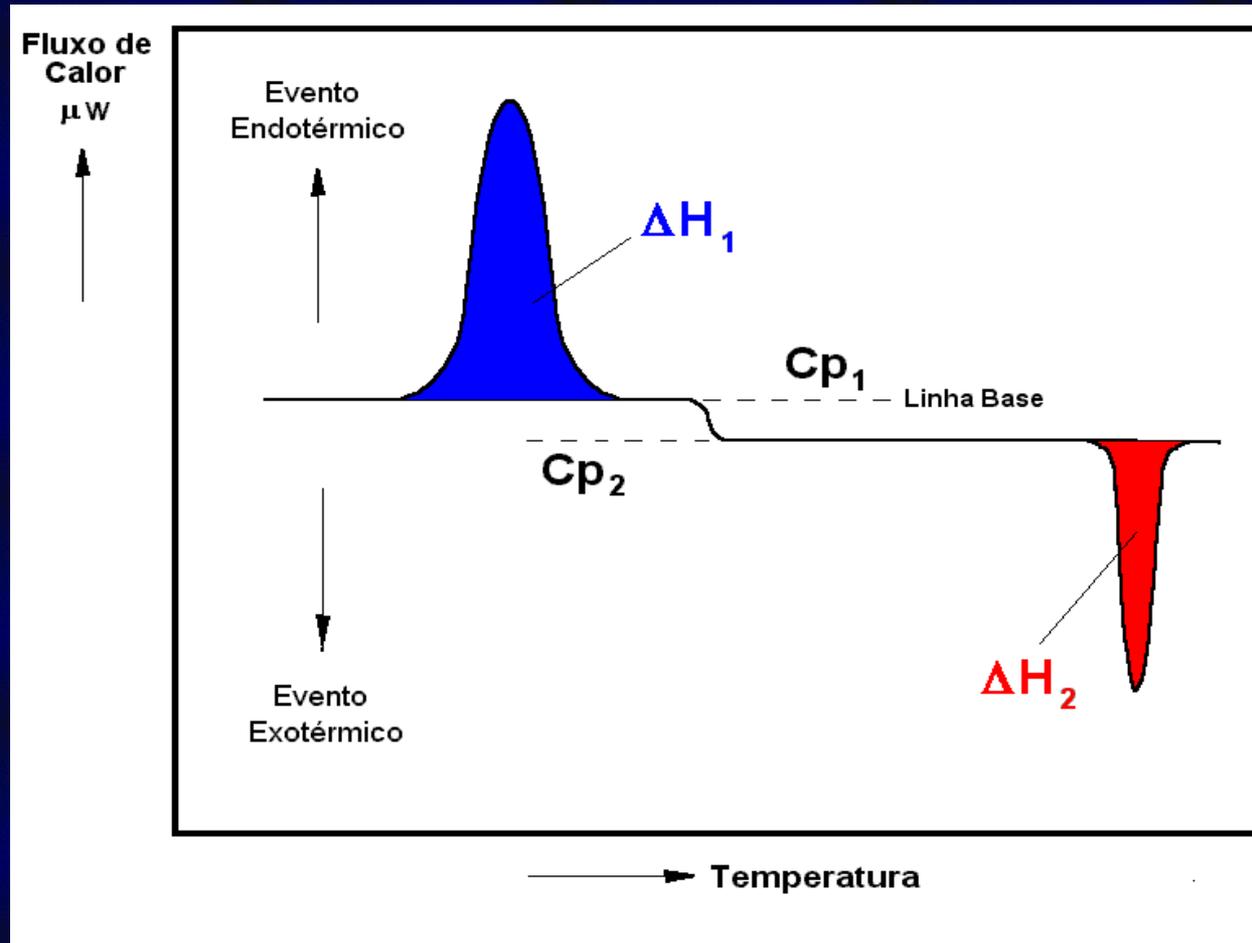
Indicado para análise qualitativa, devido à erros intrínsecos do sistema, os quais afetam a linha base:

- condutividade térmica não constante (amostra e referência)
- coeficiente de transferência de calor diferente para amostra e referência
- diferenças de temperatura nos porta-amostras da amostra e da referência
- diferenças na capacidade térmica da amostra e da referência

Calorimetria Exploratória Diferencial

Differential Scanning Calorimetry - DSC

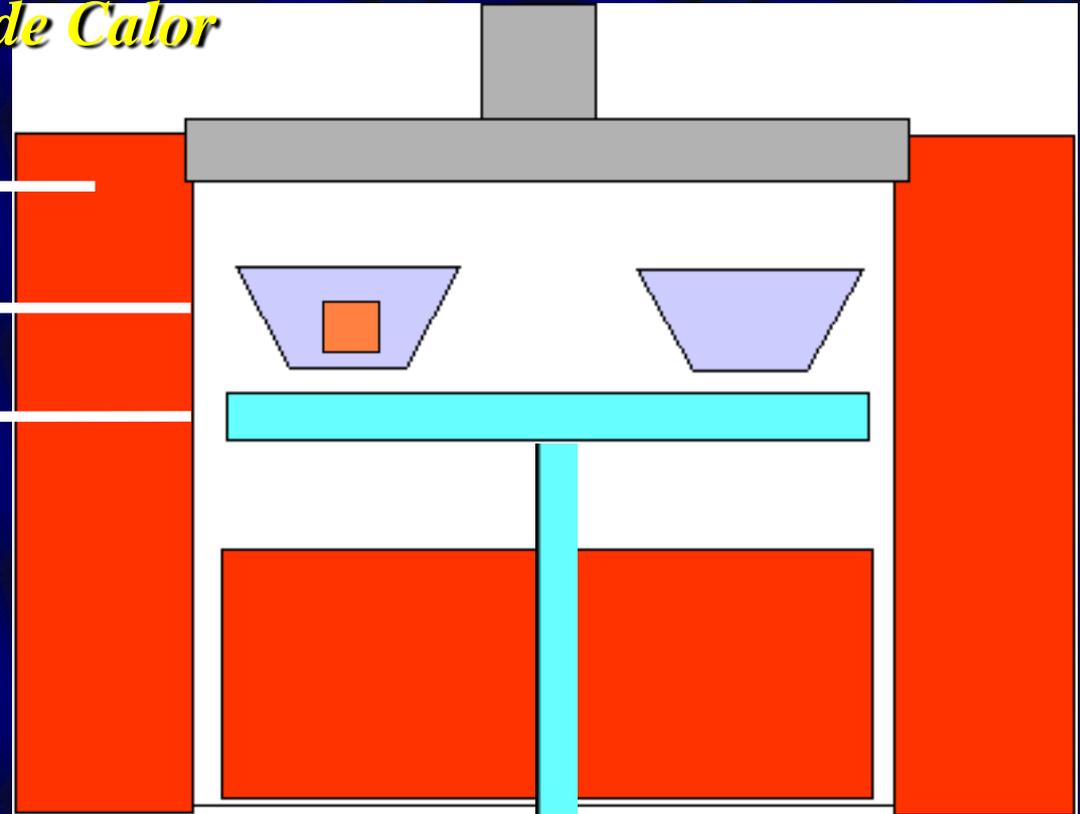
DSC é uma técnica de análise térmica onde é determinada a diferença de energia fornecida à uma amostra e à um material termicamente inerte (referência) em função da temperatura ou do tempo, à medida que a amostra é aquecida ou resfriada.



Calorimetria Exploratória Diferencial

Compensação por Fluxo de Calor

FORNO ←
CADINHOS ←
SENSOR ←



AQUECIMENTO

$$Q = U / (R_{th} \cdot S)$$

U = Sinal Medido ($T_a - T_r$)

R_{th} = Resistência Térmica do Sensor

S = $U / \Delta T$ = Sensitividade do Sensor de Temperatura

Calorimetria Exploratória Diferencial

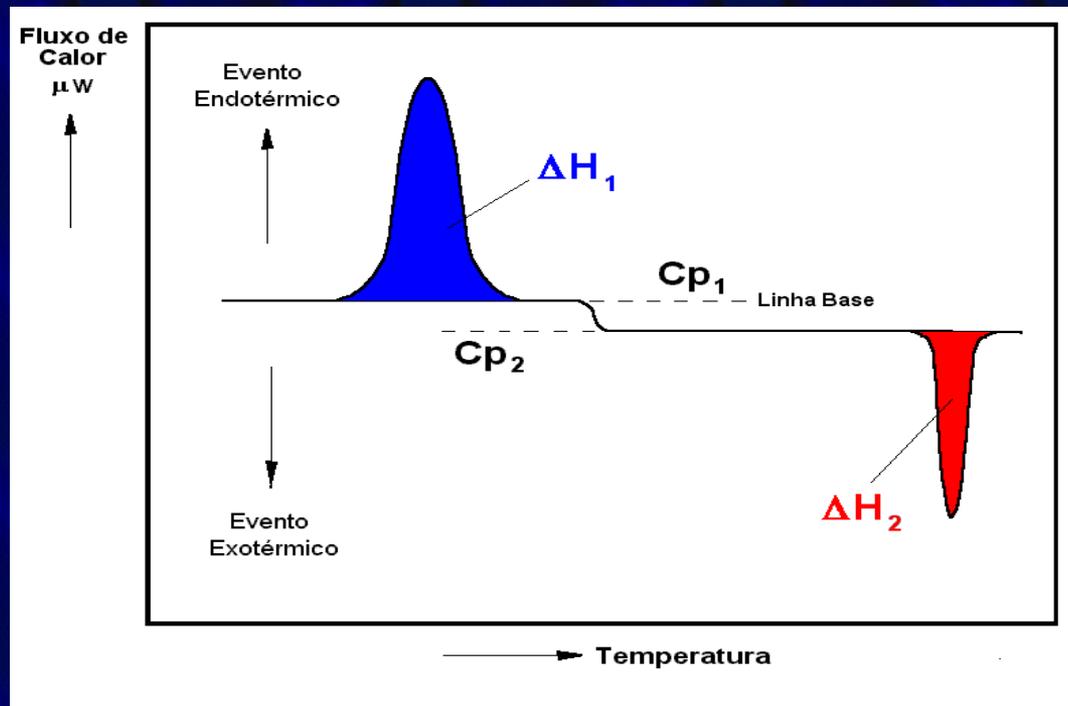
Compensação por Fluxo de Calor

$$\Delta H = K \cdot \int \Delta T dt$$

$$\Delta H = K \cdot (\text{área do pico})$$

Onde:

K = cte de calibração



$$K = \text{sensitividade calorimétrica} = \Delta H_p \cdot m_p / A_p$$

Calorimetria Exploratória Diferencial

Compensação por Fluxo de Calor

$$\Delta y \propto C_p$$

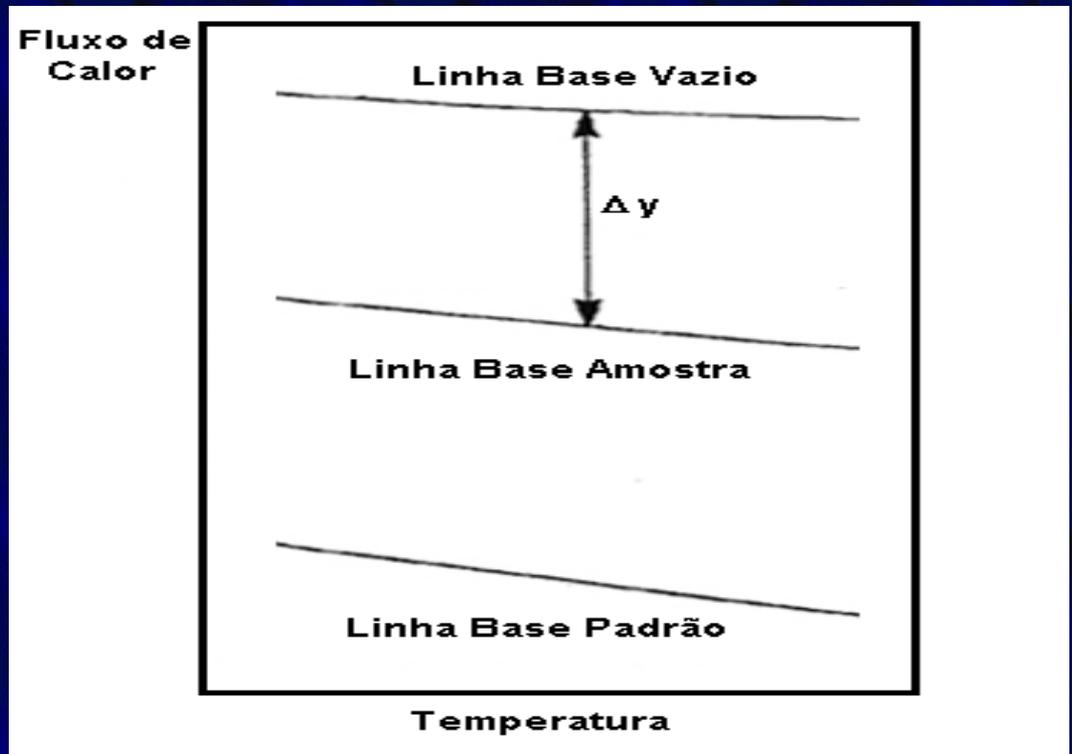
$$\Delta y = C_p \cdot \text{cte.} \cdot (dT/dt)$$

$$C_p = K \cdot \Delta y / (dT/dt)$$

Onde:

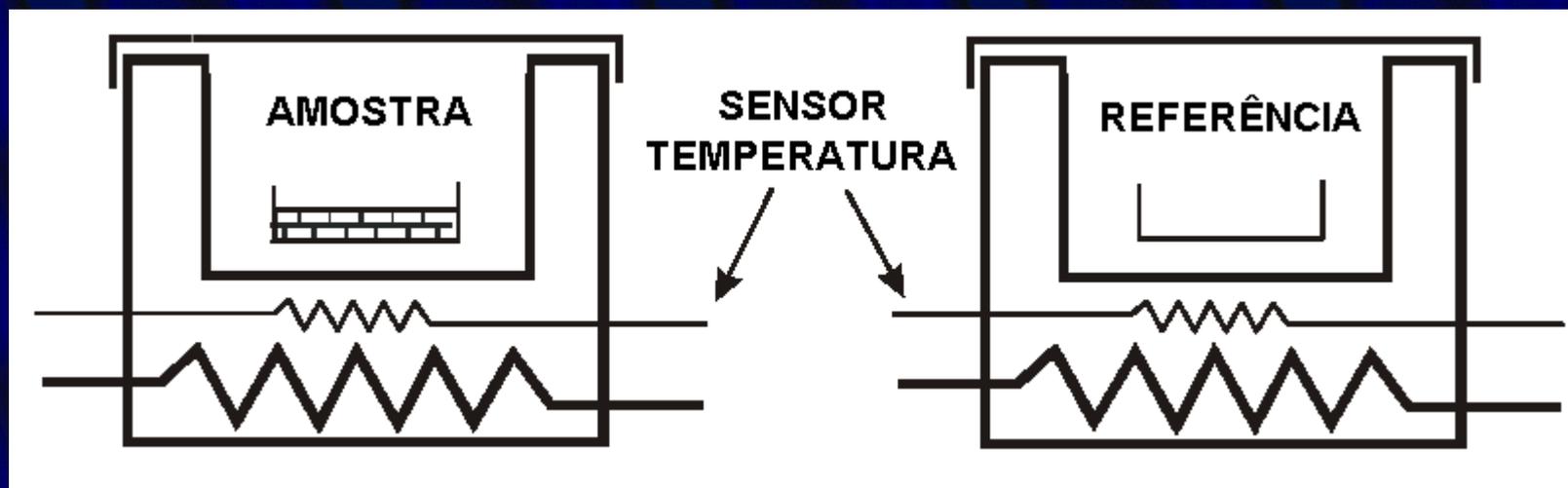
$K =$ cte de calibração

$K =$ sensibilidade calorimétrica = $C_{p_p} / \Delta y_p$



Calorimetria Exploratória Diferencial

Compensação de Potência



$$\Delta H = \beta \cdot \Delta P$$

Onde: β = constante do equipamento

altíssima Precisão
até 600 °C
amostras até 15 mg

Fatores que Afetam as Curvas DTA e DSC

FATORES INSTRUMENTAIS

- A) Taxa de Aquecimento**
- B) Atmosfera**
- C) Porta-amostras**
- D) Natureza e Propriedades dos Termopares**
- E) Posição da Medida de Temperatura**

FATORES RELACIONADOS ÀS CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

- A) Quantidade**
- B) Tamanho e Forma da Partícula (empacotamento)**
- C) Contato amostra/atmosfera (porta-amostra e empacotamento)**

Taxa de Aquecimento



Taxa de Aquecimento



T_i , T_f , T_{max}

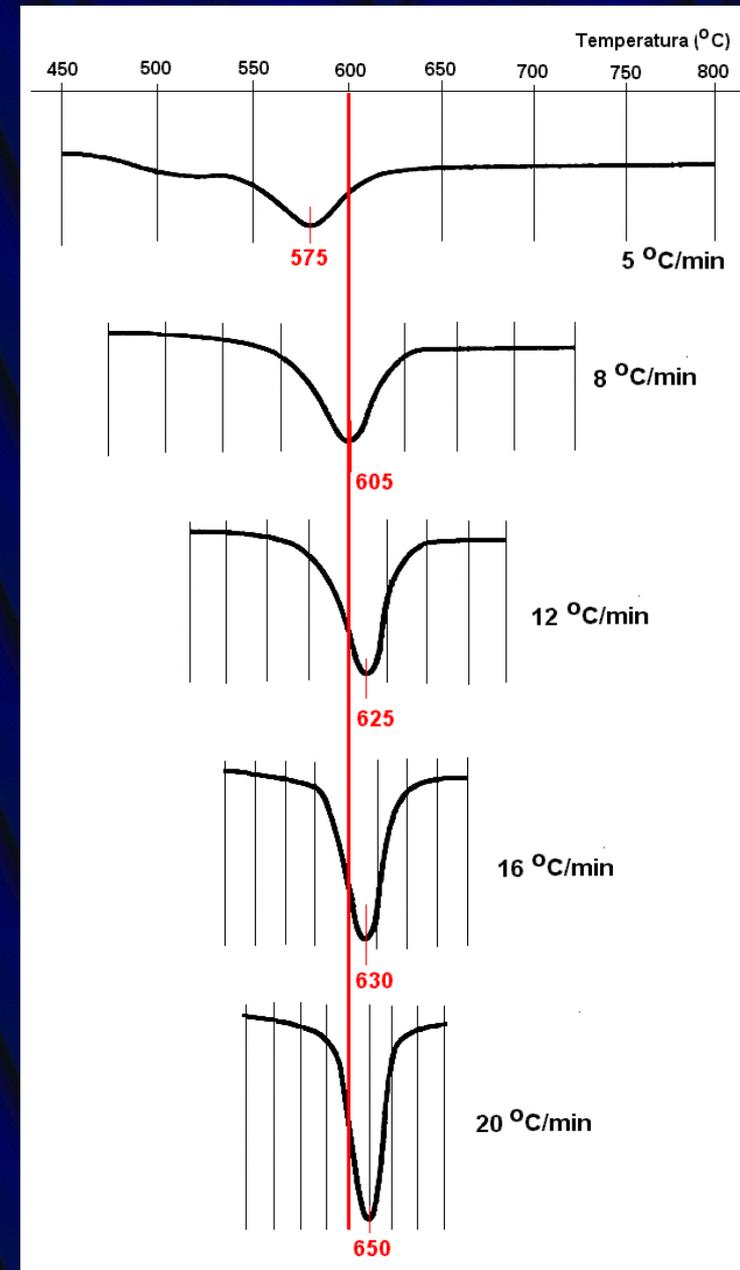


ΔT

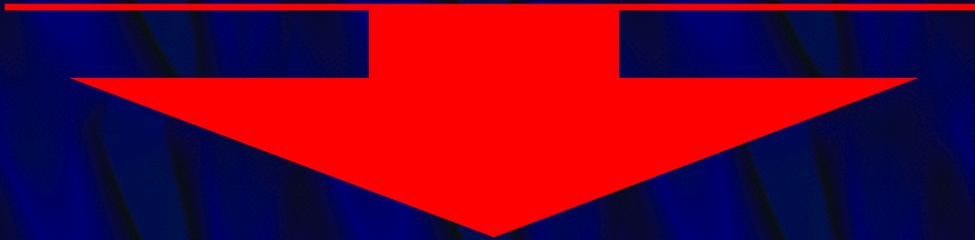
aumenta amplitude do pico

aumenta definição do pico

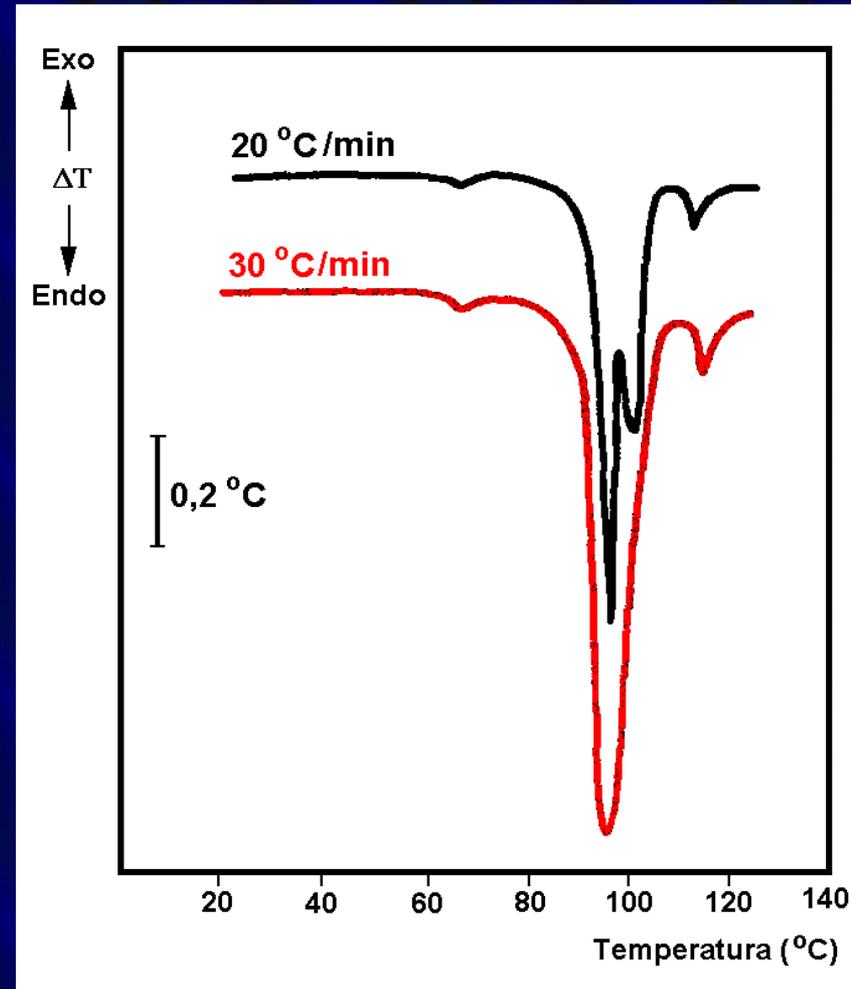
aumenta ligeiramente a área do pico



Taxa de Aquecimento



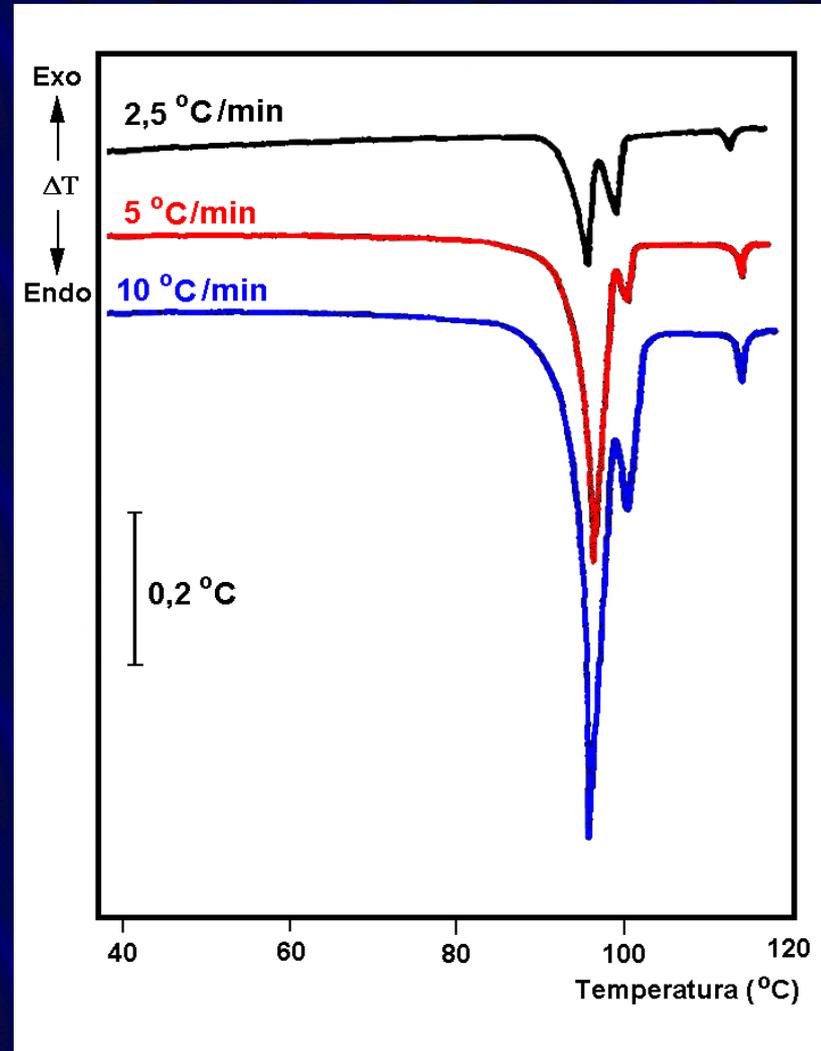
afeta resolução



Taxa de Aquecimento

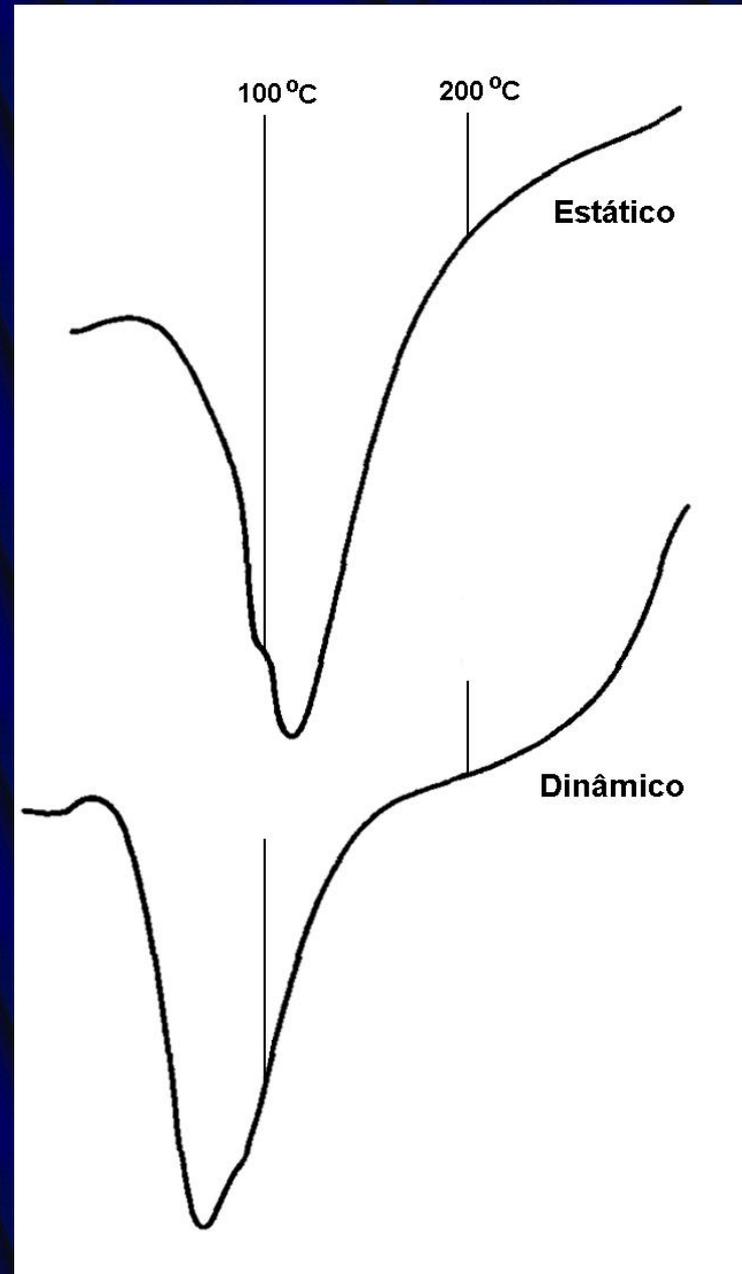
Taxa de Aquecimento

amplitude



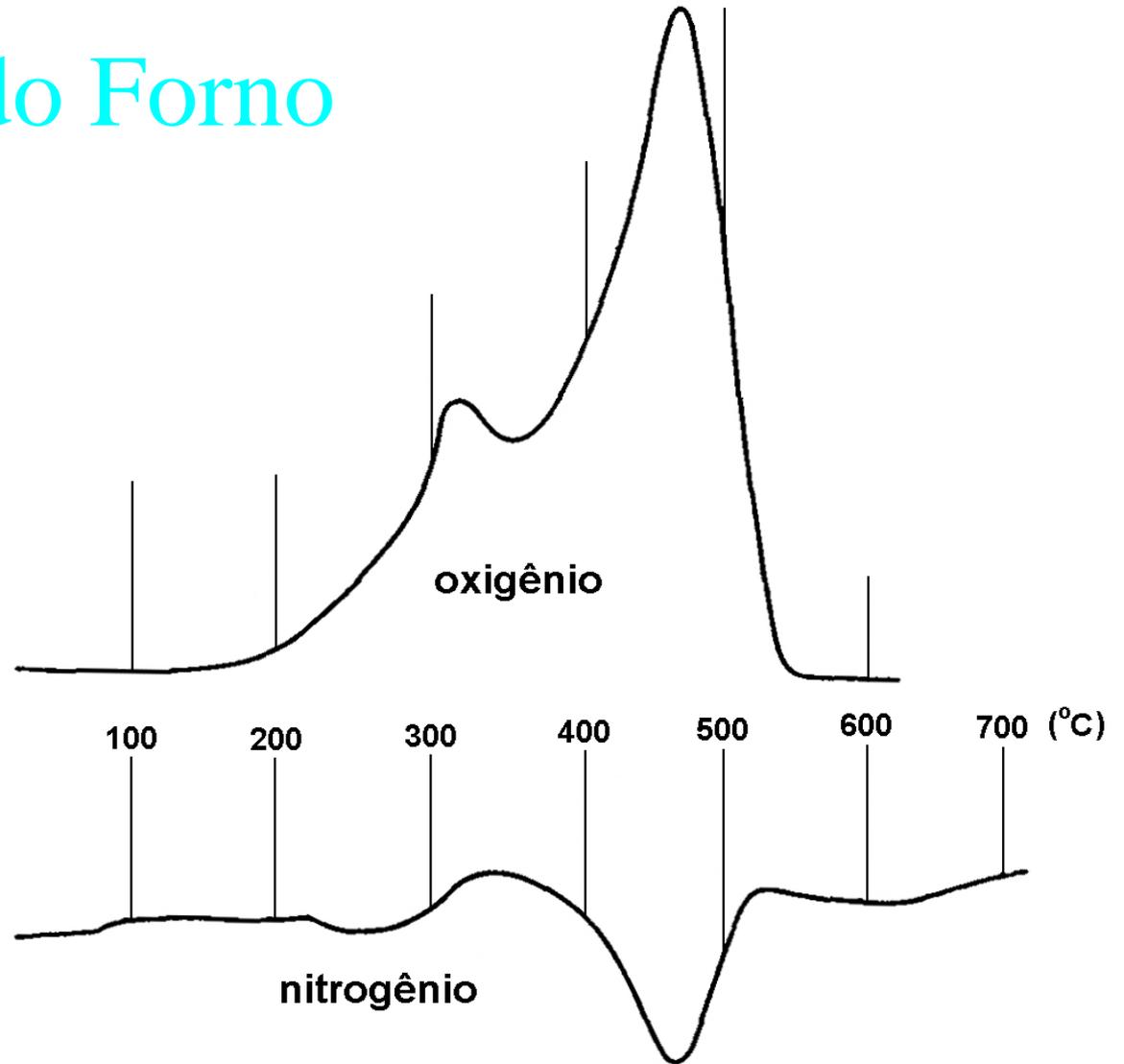
Atmosfera do Forno

Xisto



Atmosfera do Forno

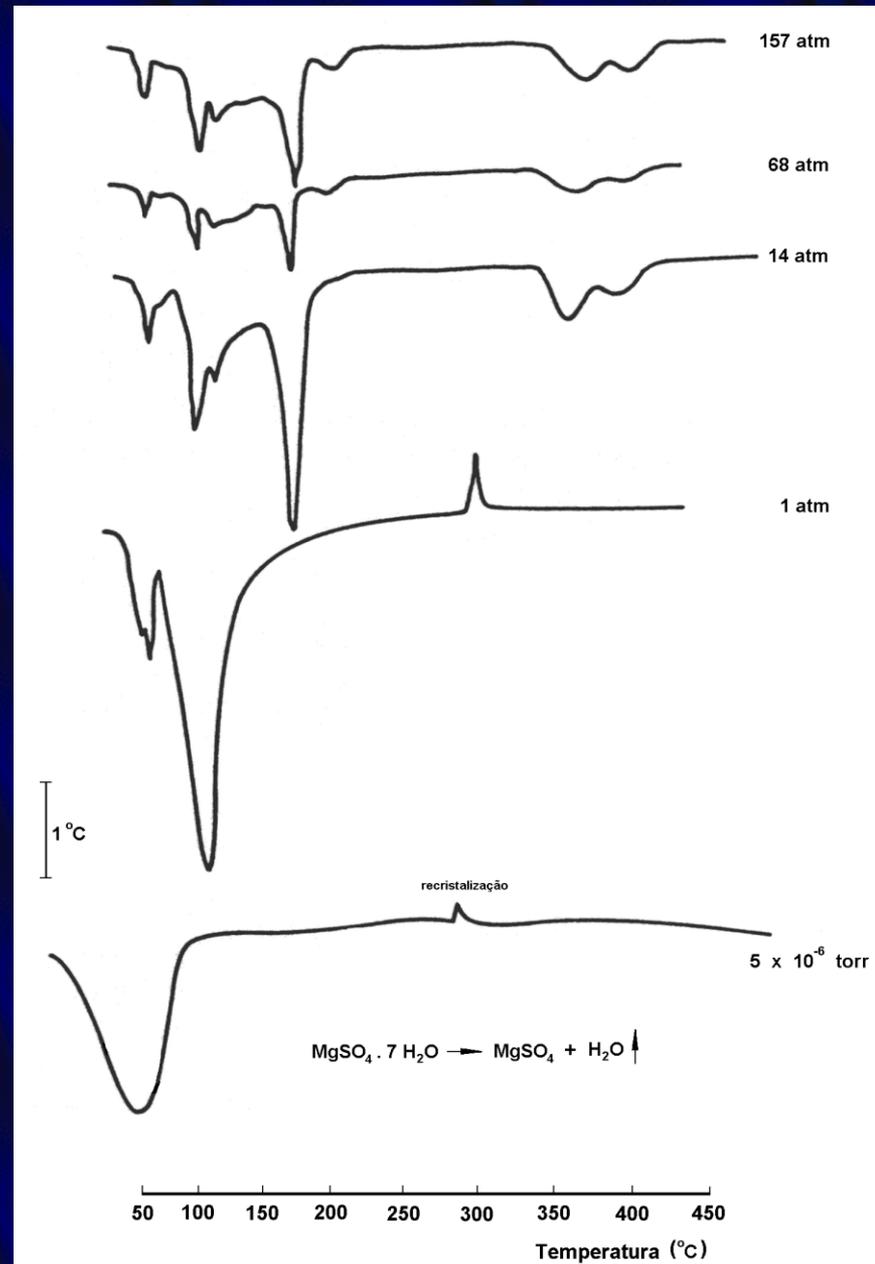
Al₂O₃
+
aglomerante



Atmosfera do Forno

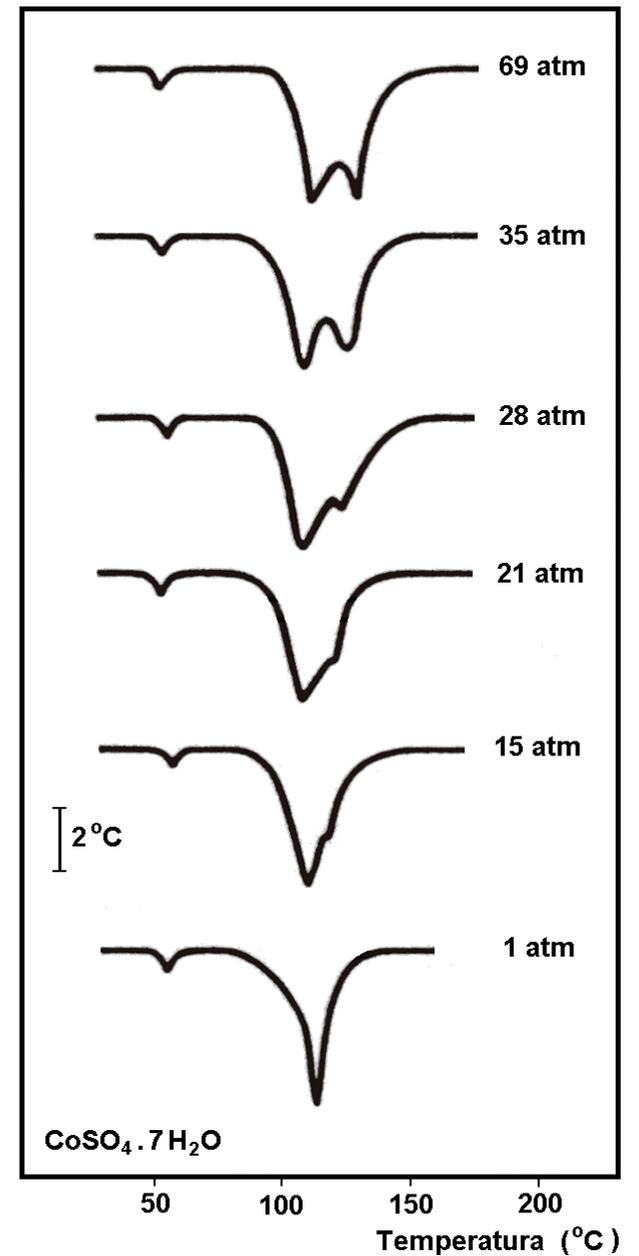
Nitrogênio

10 °C/min



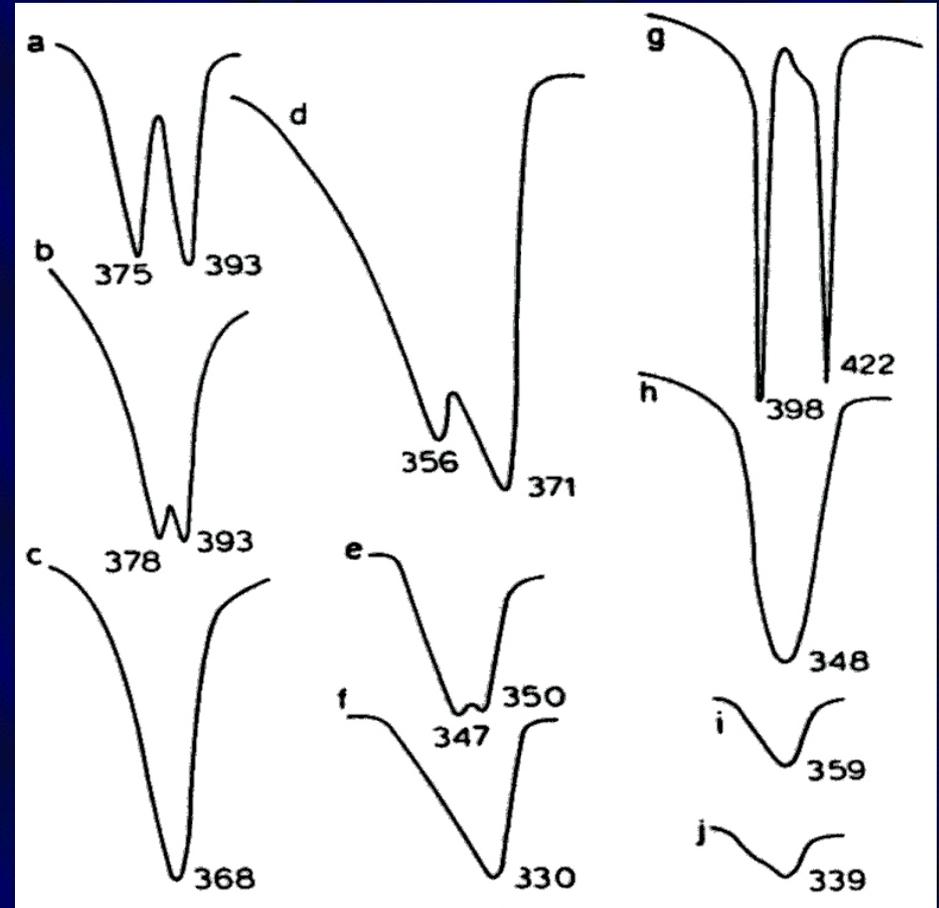
Atmosfera do Forno

Nitrogênio

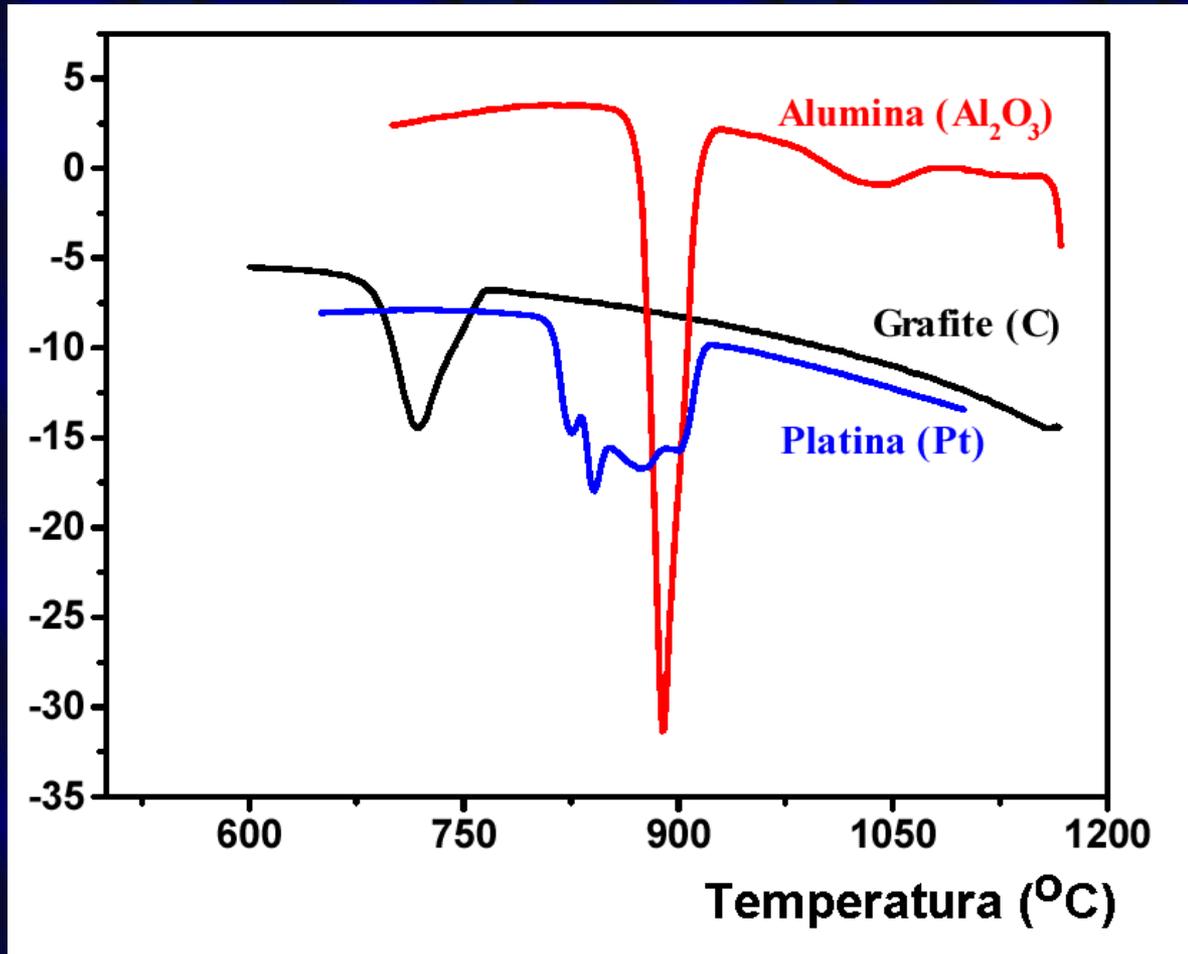


Porta-Amostras

Oxalato de Urânio



Porta-Amostras



Cristalização de Vidro

Termopares

Tipo K: Elevada DDP por °C (40mV/°C)

Elevada Oxidação Altera Curva DDP x Temperatura

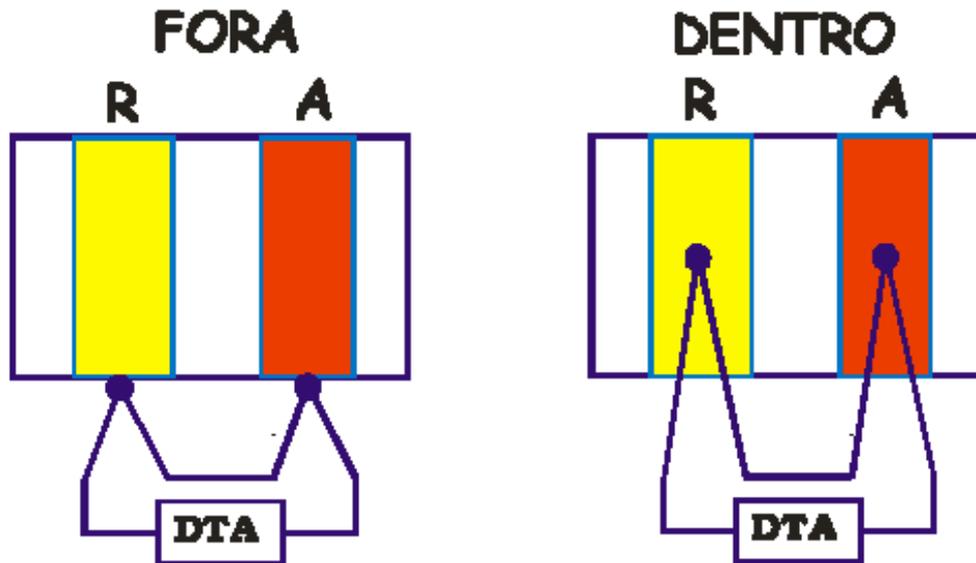
Platina: Baixa DDP por °C

Crescimento de Grão a Elevada Temperatura pode
Alterar em 10% a leitura

Posição da Medida de Temperatura

A maioria dos equipamentos o termopar não está em contato direto com a amostra. Entretanto existem equipamentos que o sensor fica dentro da amostra

Conseqüência diferença na temperatura do picos entre os dois tipos de porta amostra de até 50°C

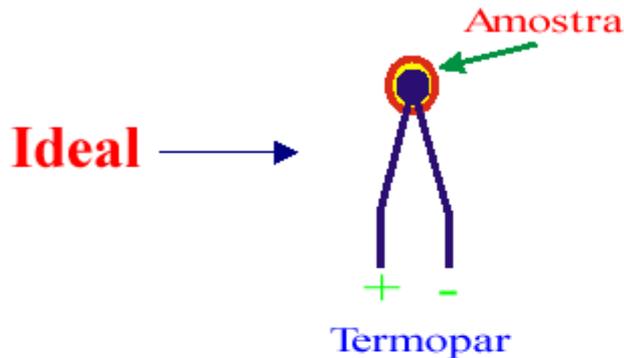


Não Permite Presença de Líquido

Quantidade de Amostra

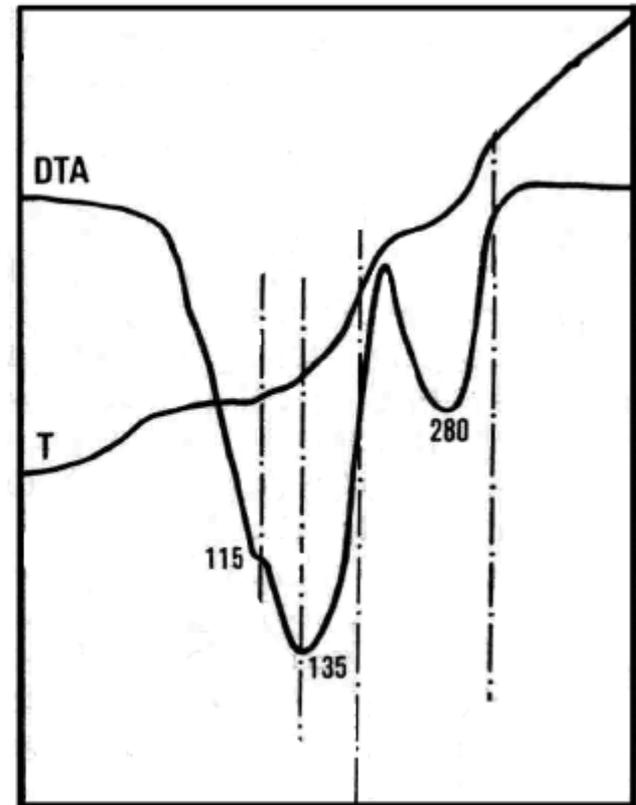
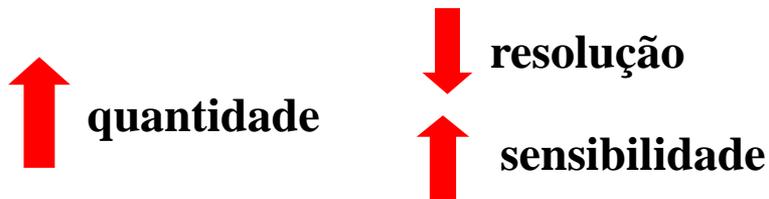
Mínima o Suficiente para ser Detectada a Transformação.

Ideal quantidade para recobrir a Cabeça do Termopar



Transformações muito Intensa pode afetar curva de Aquecimento

Energia suficiente para alterar Temperatura do Forno



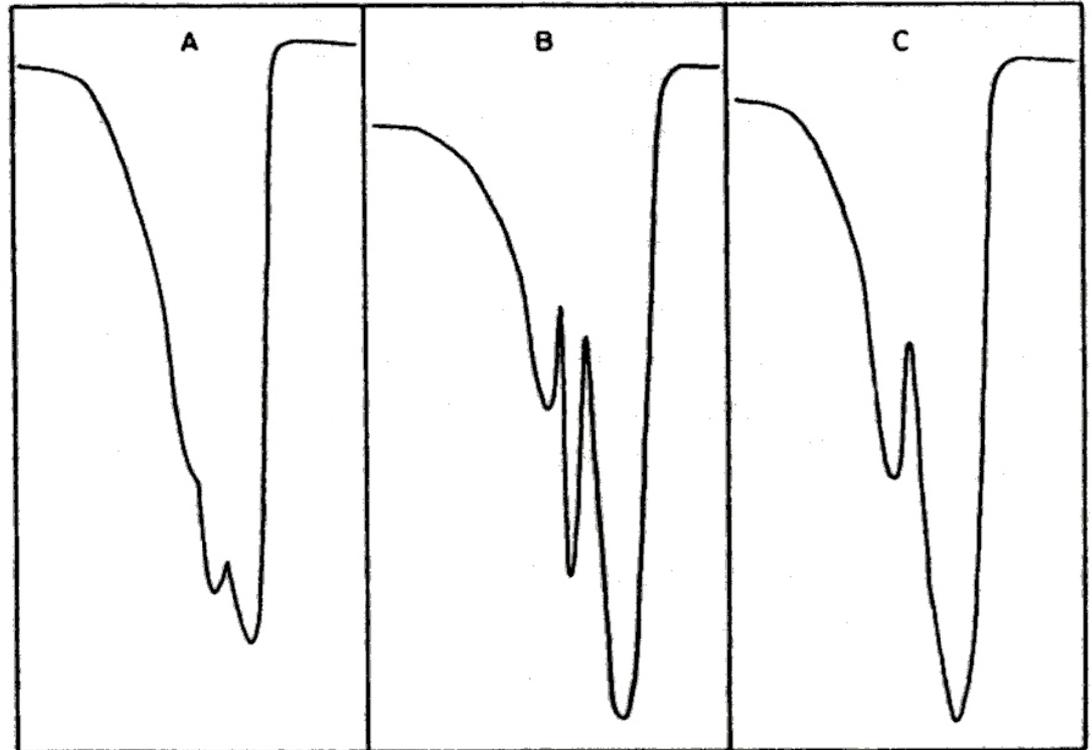
Tamanho e Forma da Partícula

Diferença de Densidade
(Empacotamento)

Dentro do cadinho é causa
freqüente de Desvios na
Linha Base

Menor empacotamento
Diminui Condutividade
Térmica

Portanto pode Atrasar,
Diminuir a Intensidade
e Alargar o Pico



a - -14+18 mesh

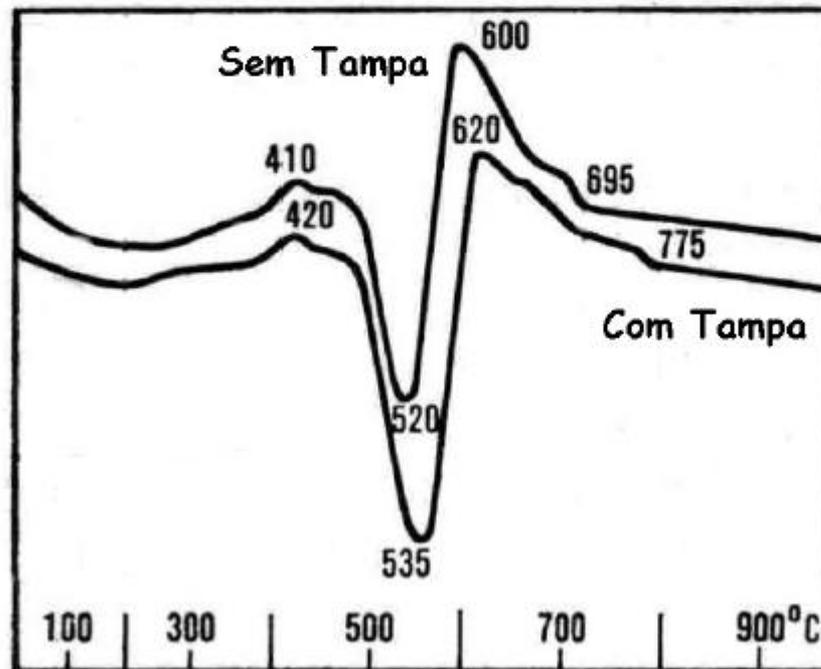
b - -52+72 mesh

c - -72+100 mesh

$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

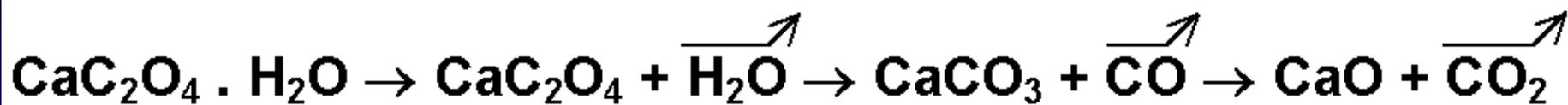
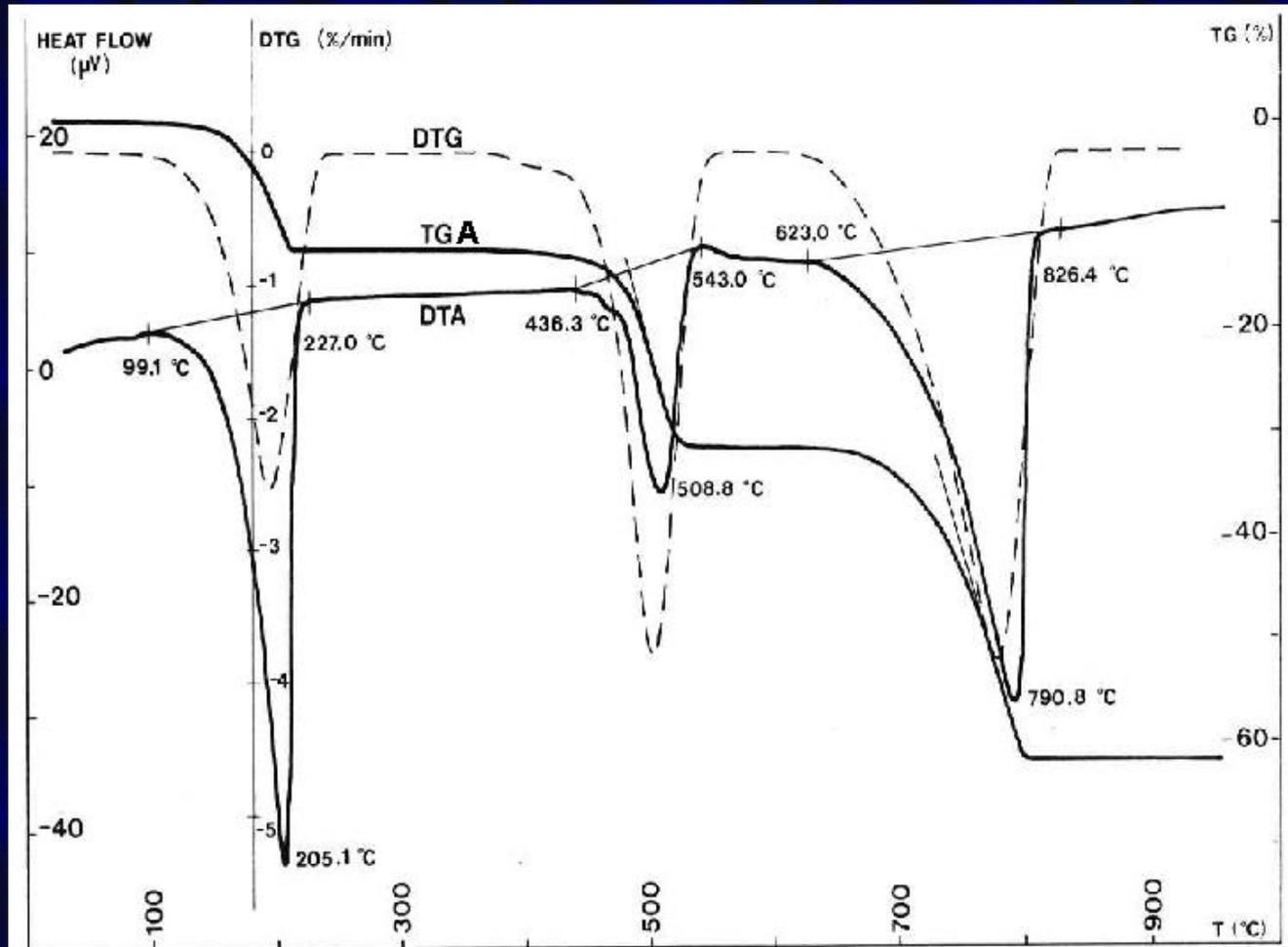
Contato Amostra/Atmosfera

Difícil de decidir , mas existe grande diferença entre as curvas com e sem Tampa. Cobertura melhora a linha base
Afeta Principalmente reações com a atmosfera ou evolução de gases.
Ex. Decomposição, Degradação, Oxidação.

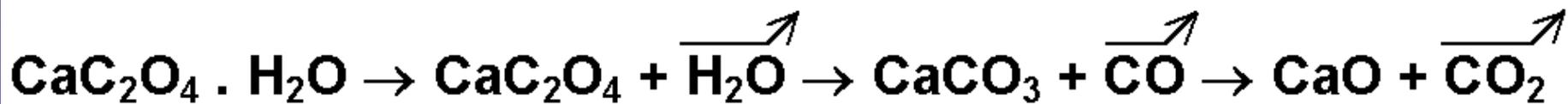
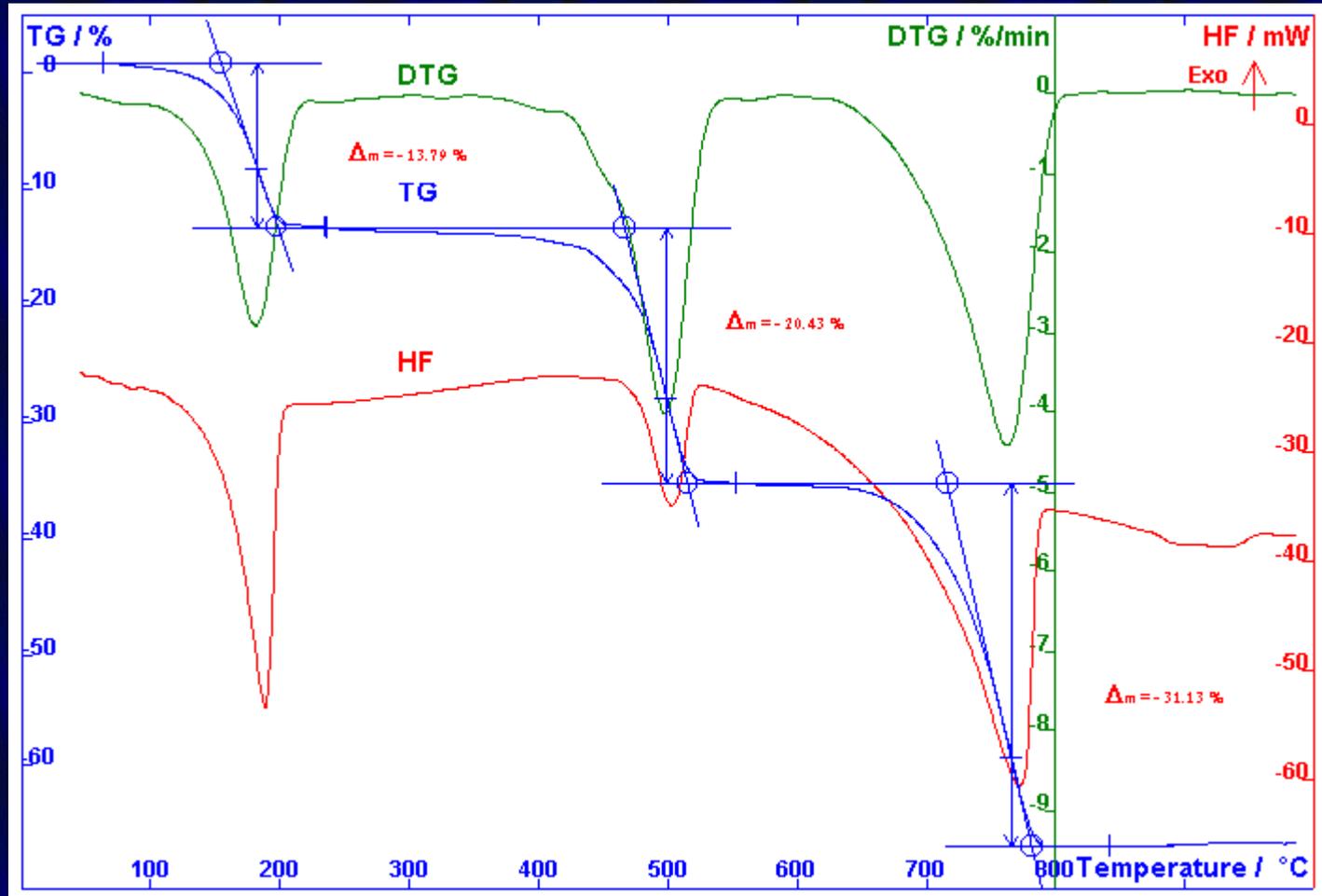


EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

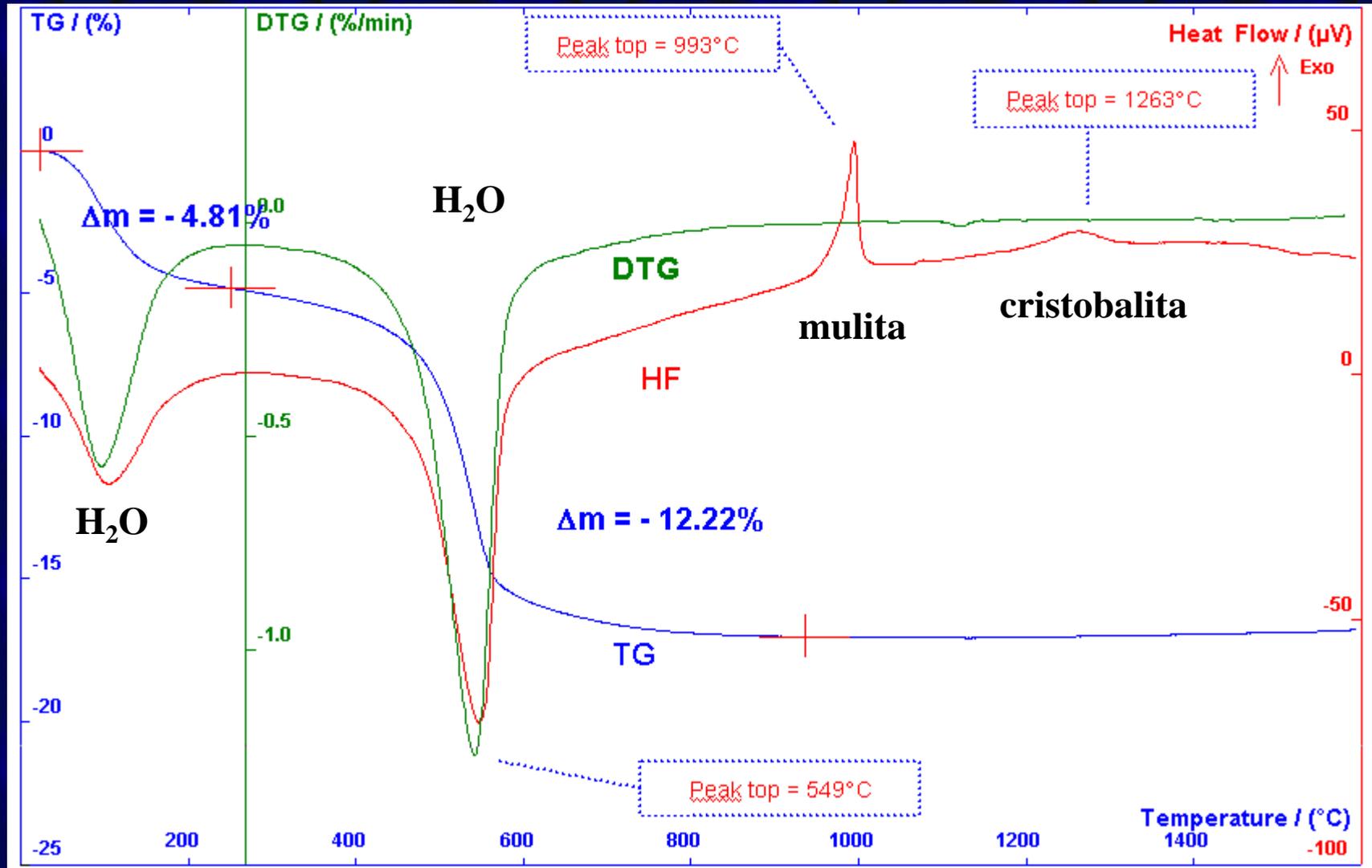
Decomposição do Oxalato de Cálcio



Decomposição do Oxalato de Cálcio



Análise da Caolinita



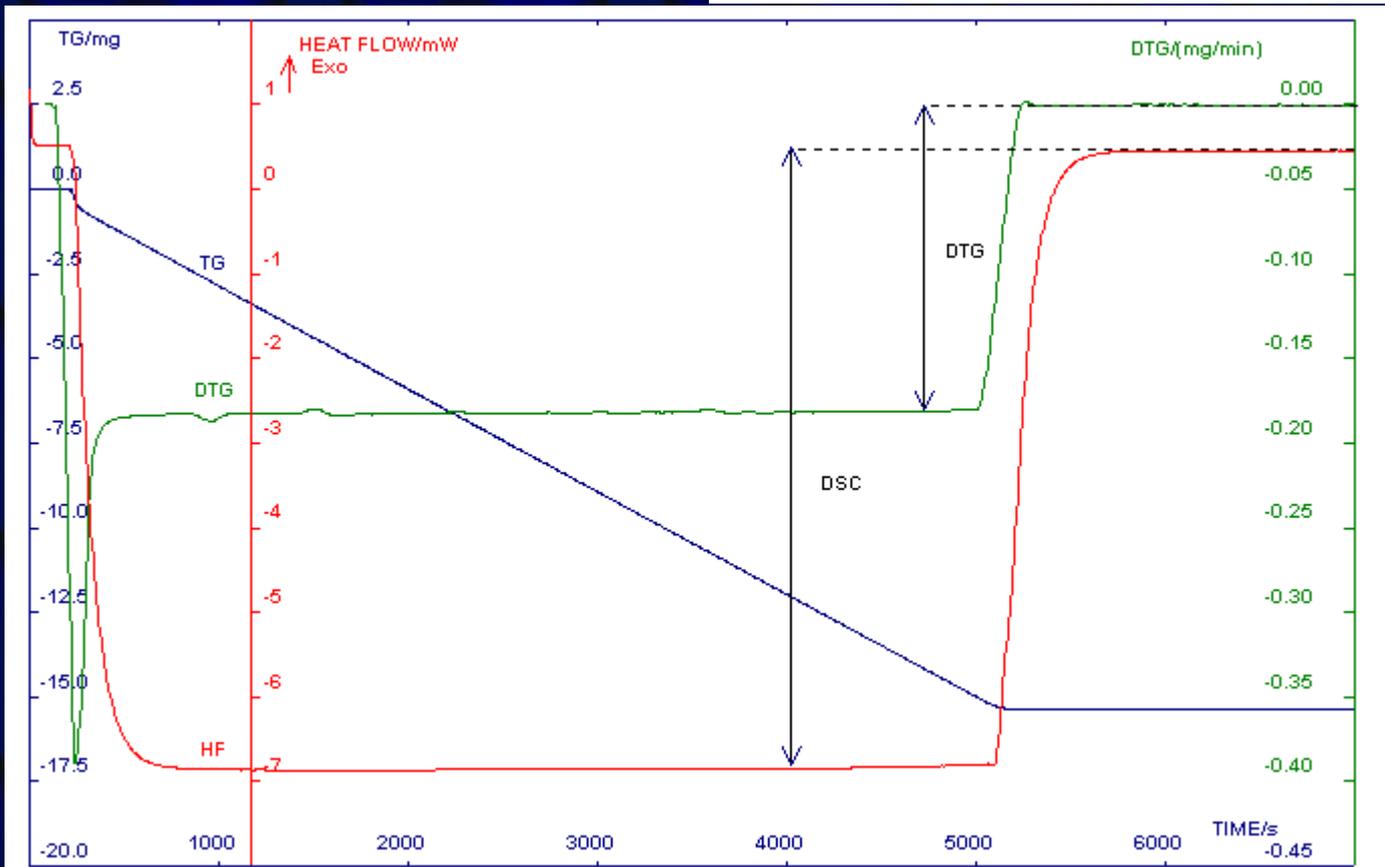
Entalpia de Vaporização (Água)

desvio do DSC = 7.288 mW = 7.288.10⁻³ W

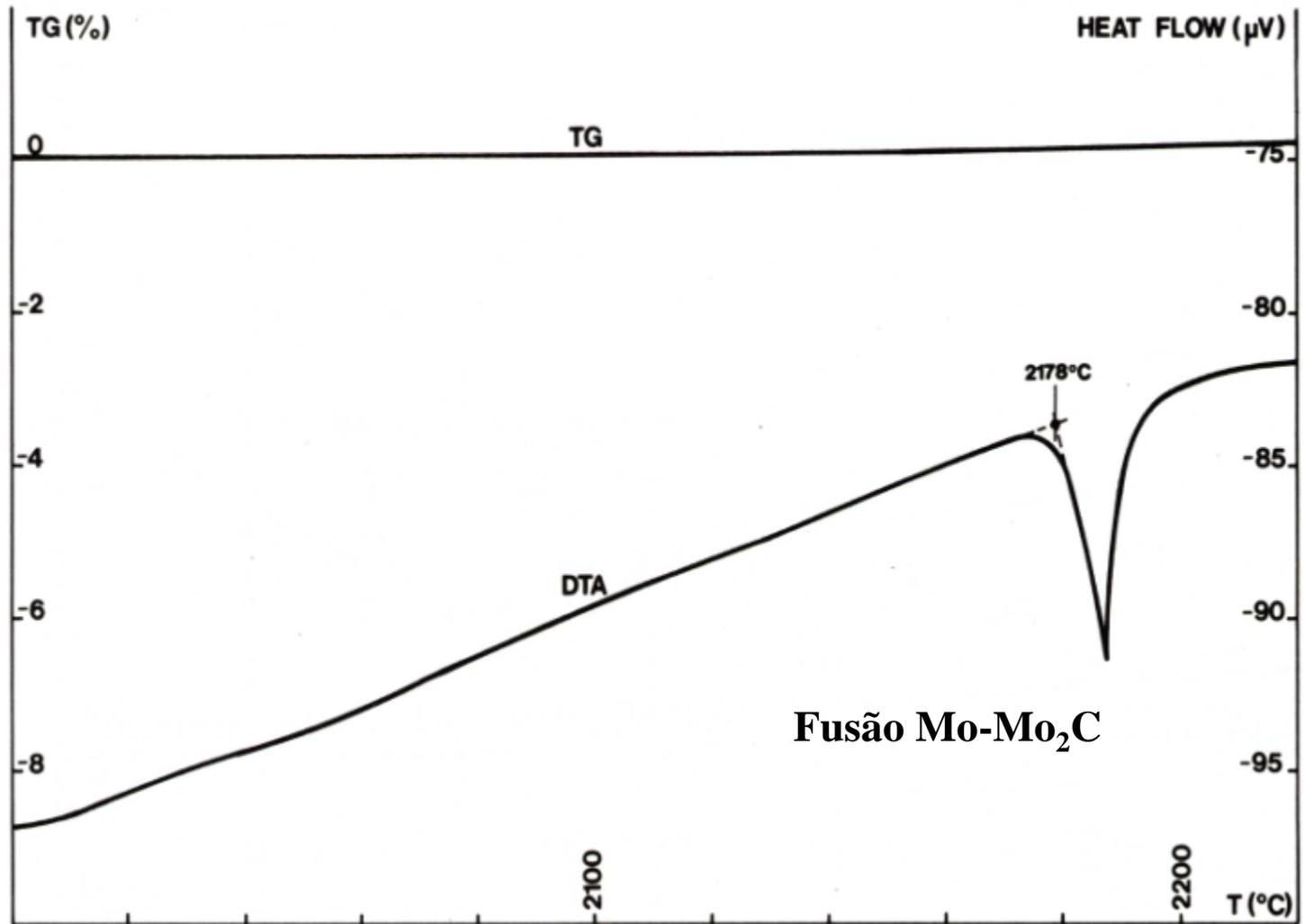
desvio do DTG = 0.182 mg/min = 3.033.10⁻⁶ g/s

$$\Delta H_{\text{vap}} = \frac{7.288 \cdot 10^{-3}}{3.033 \cdot 10^{-6}} = 2.403 \text{ kJ/g}$$

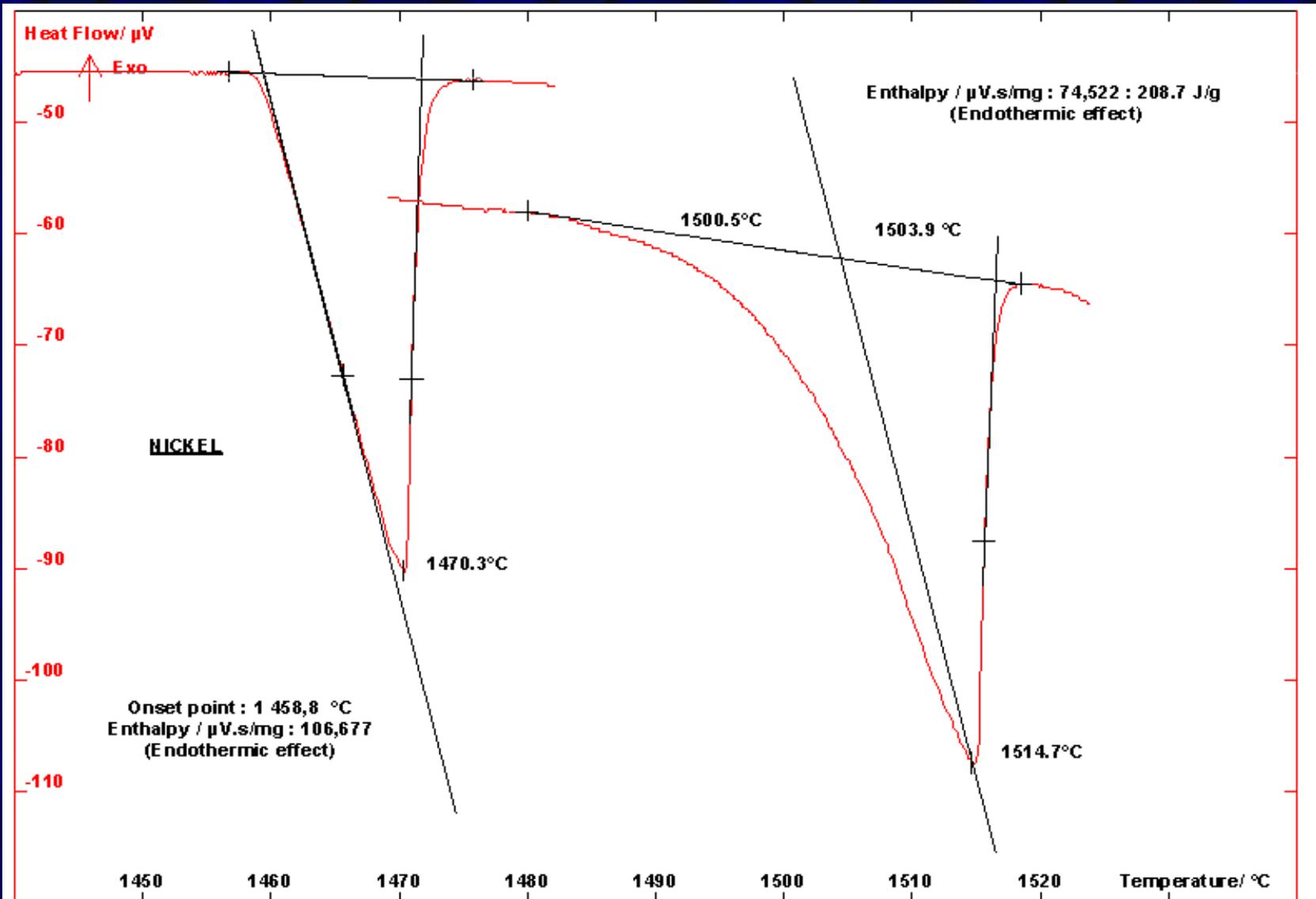
43.28 kJ/mol (lit : 43.99)



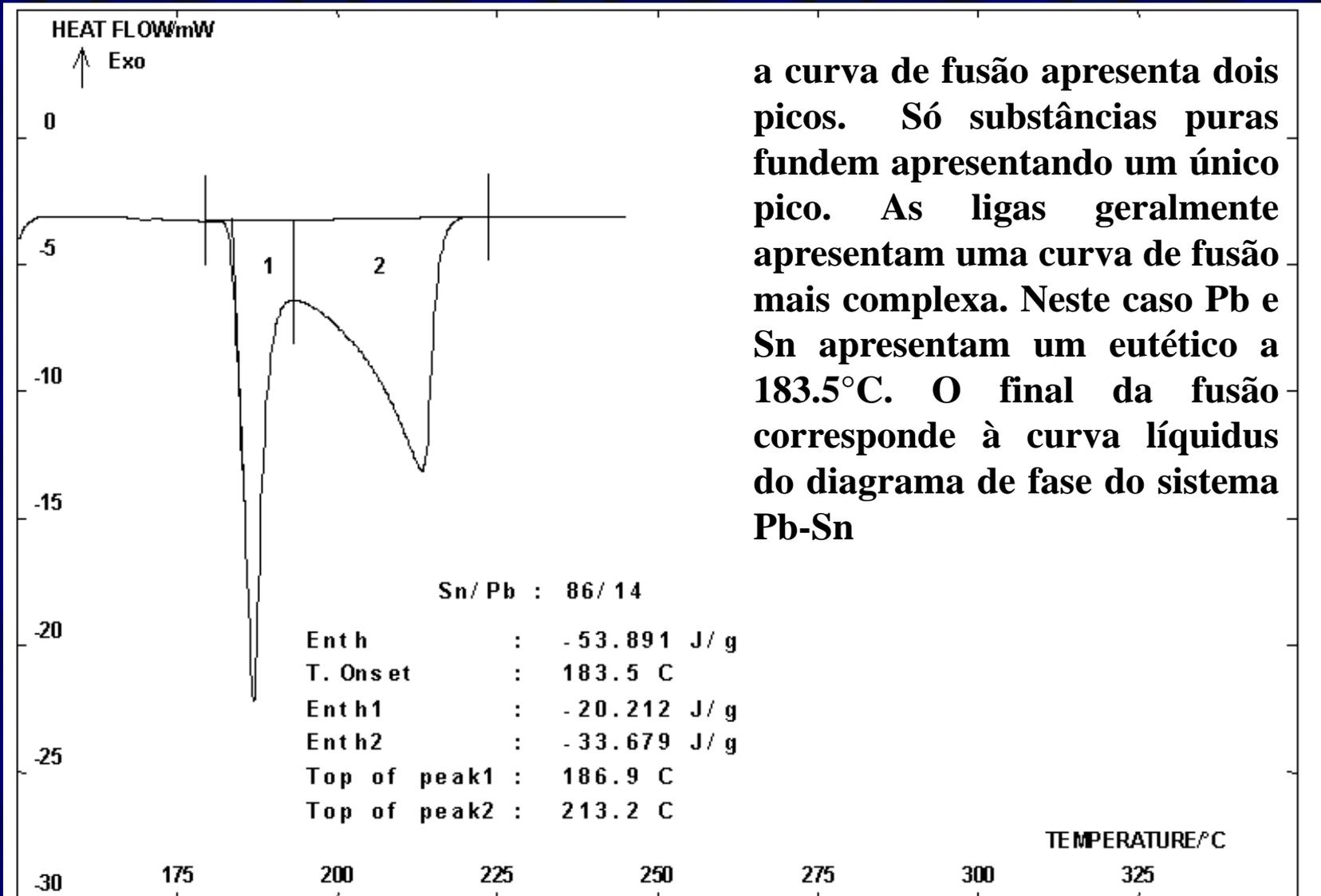
Fusão



Fusão de Aço

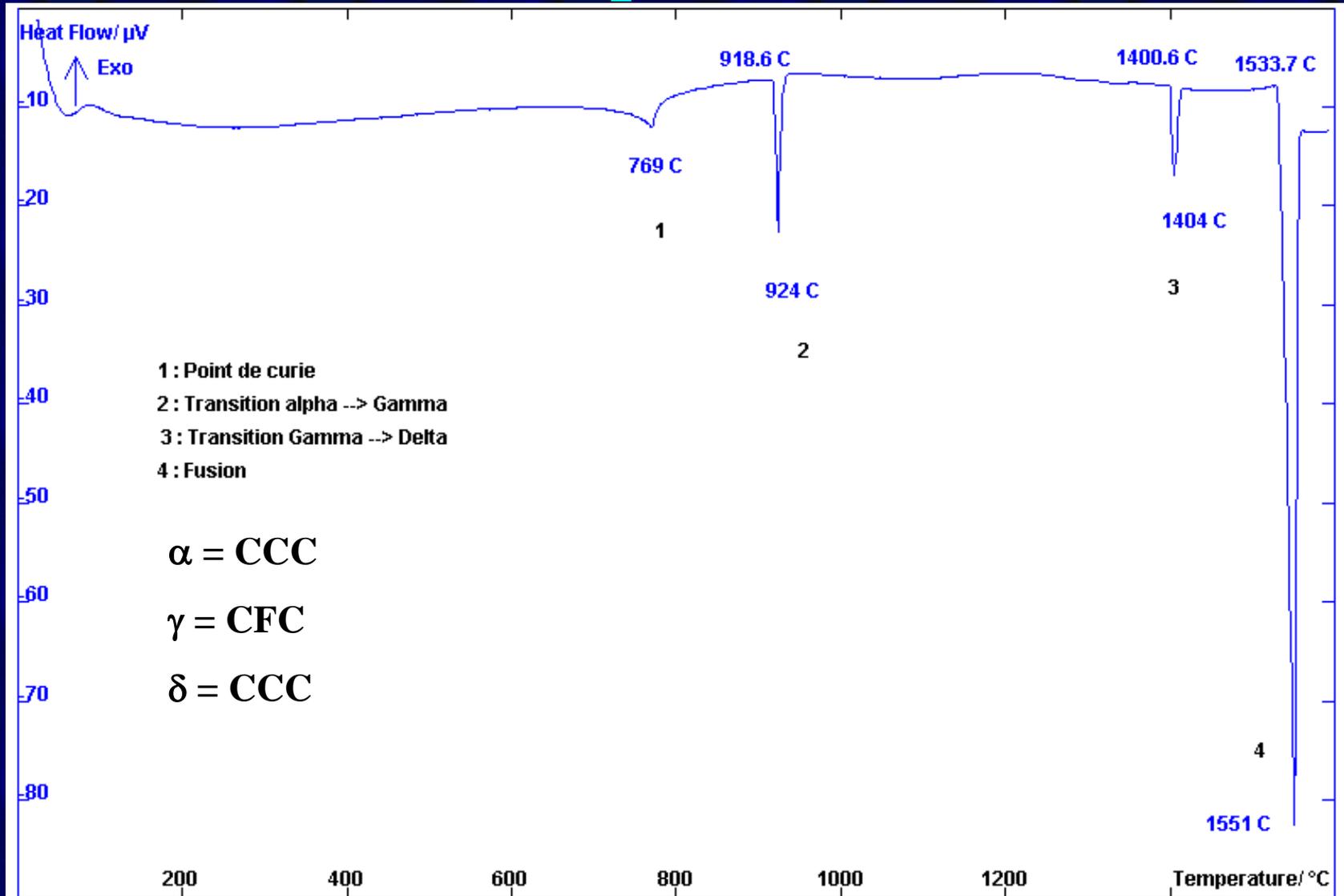


Fusão de Liga 86% Sn – 14% Pb

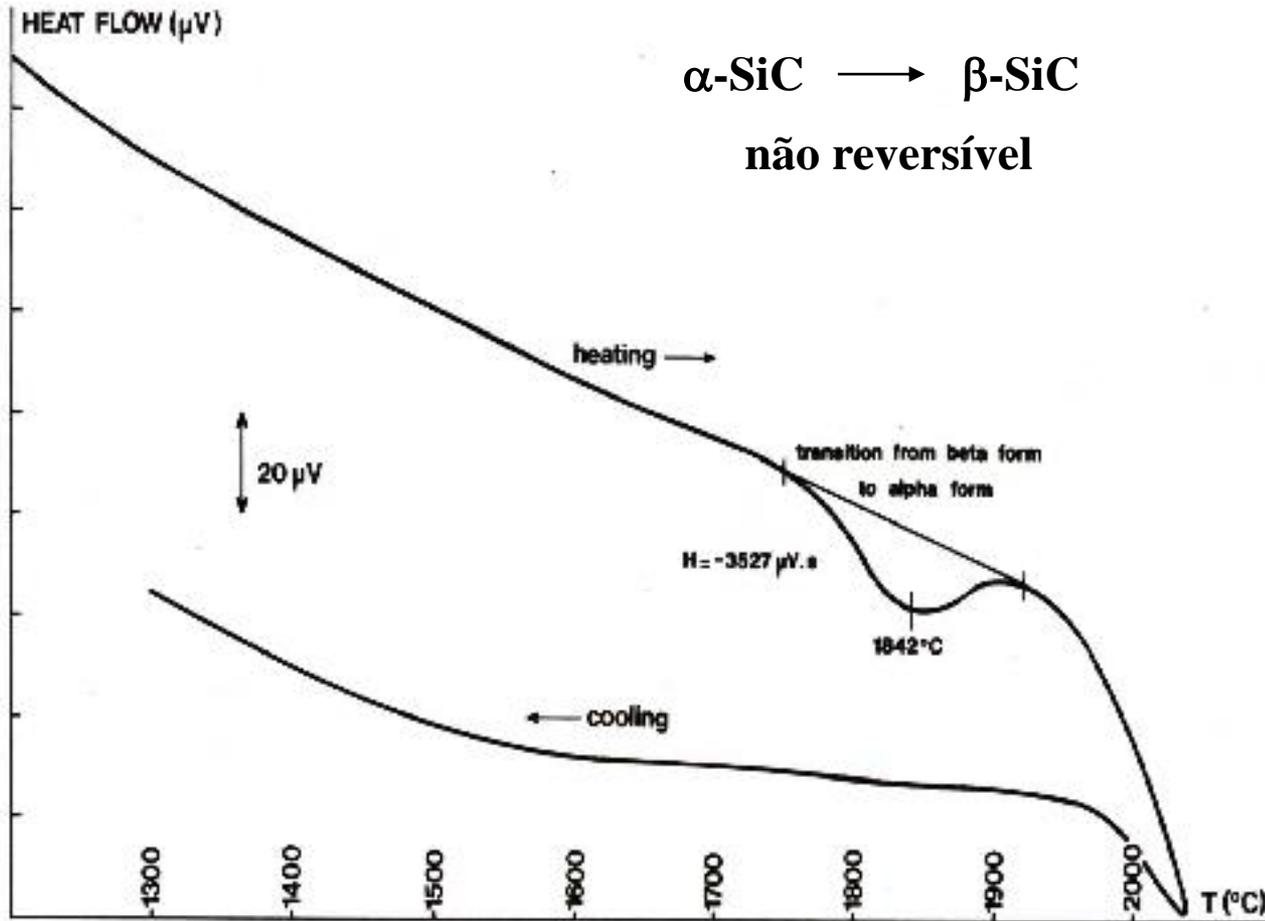


a curva de fusão apresenta dois picos. Só substâncias puras fundem apresentando um único pico. As ligas geralmente apresentam uma curva de fusão mais complexa. Neste caso Pb e Sn apresentam um eutético a 183.5°C. O final da fusão corresponde à curva líquidus do diagrama de fase do sistema Pb-Sn

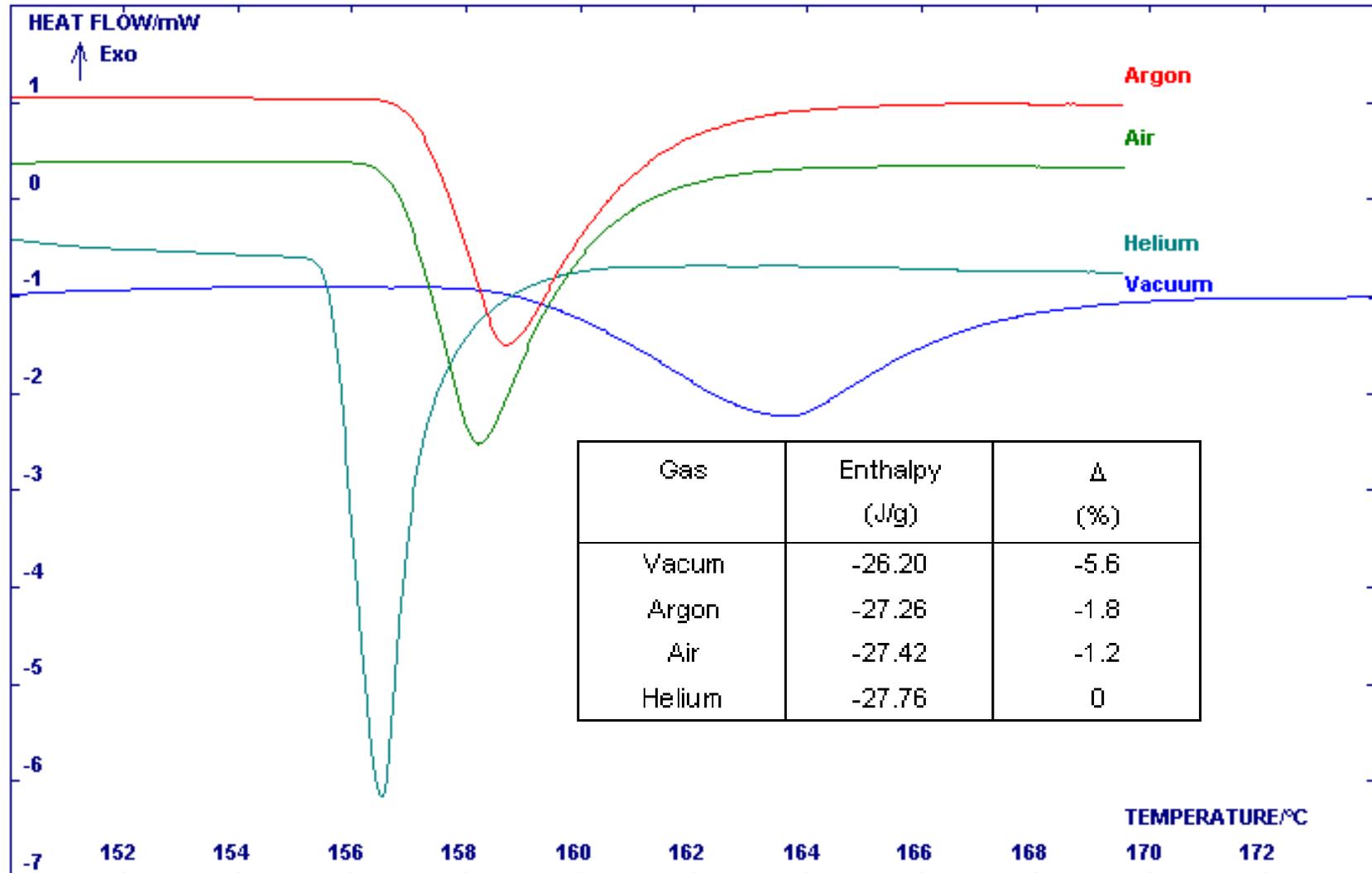
Eventos no Aquecimento do Fe



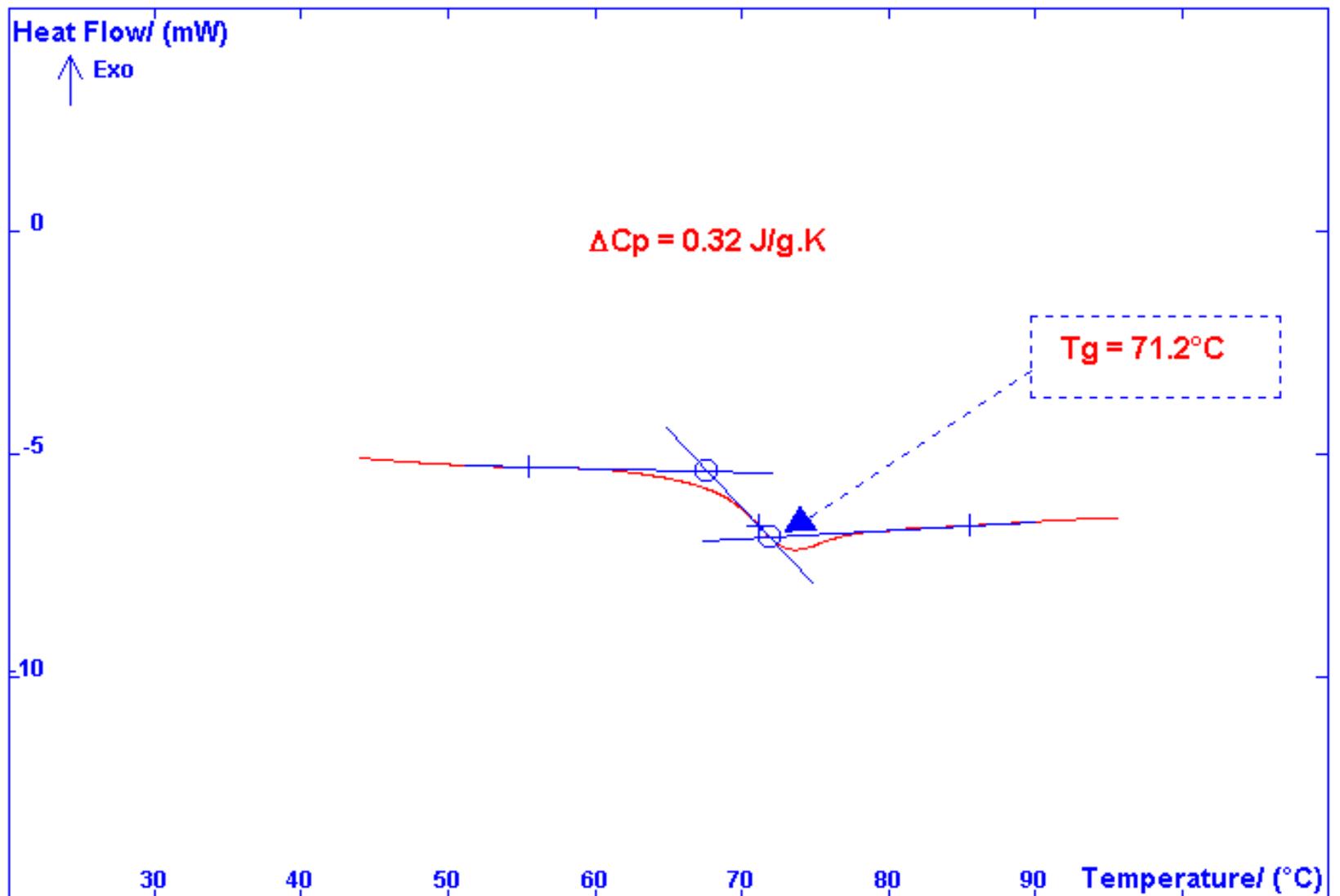
Transformação de Fase



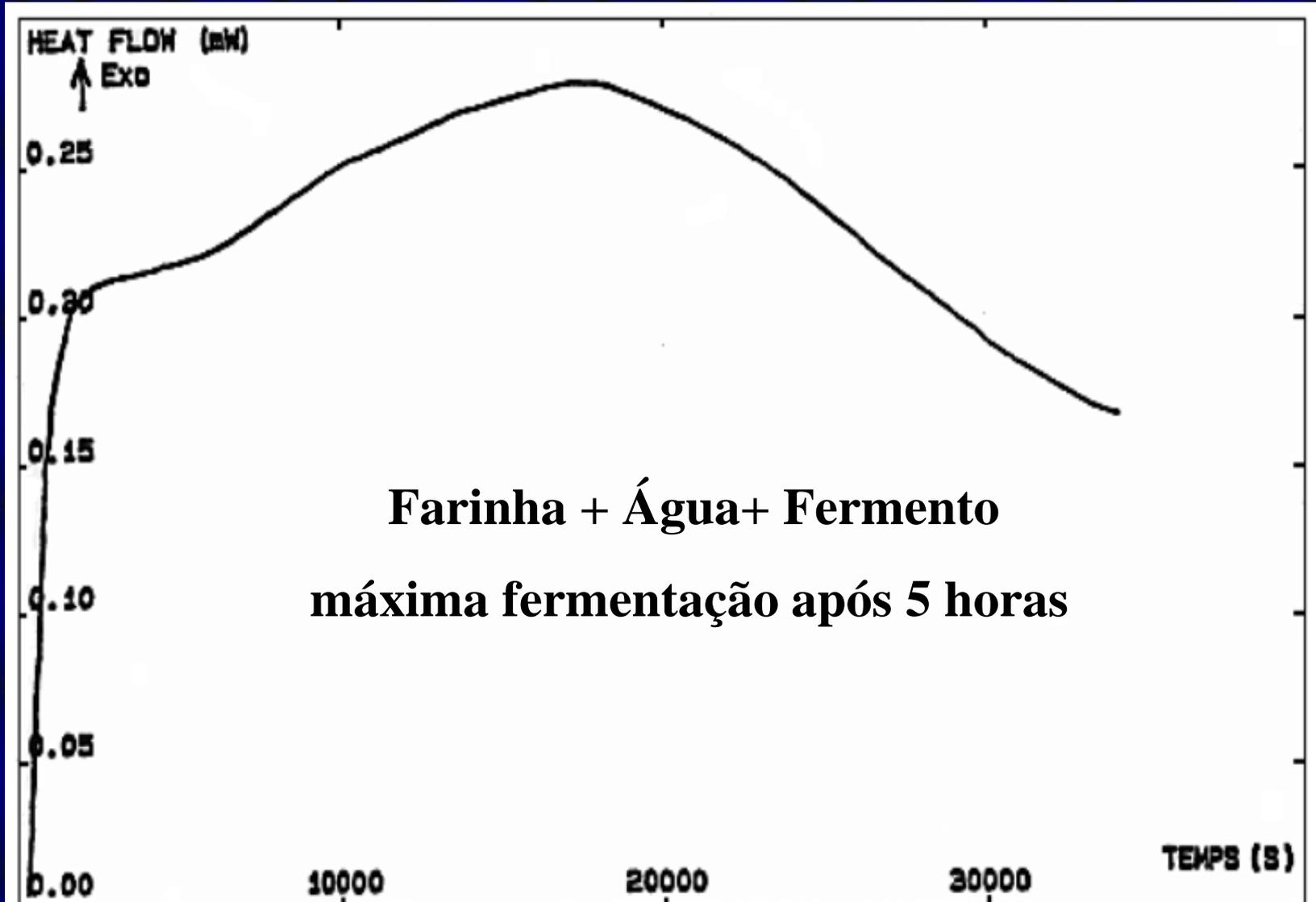
Fusão do Índio



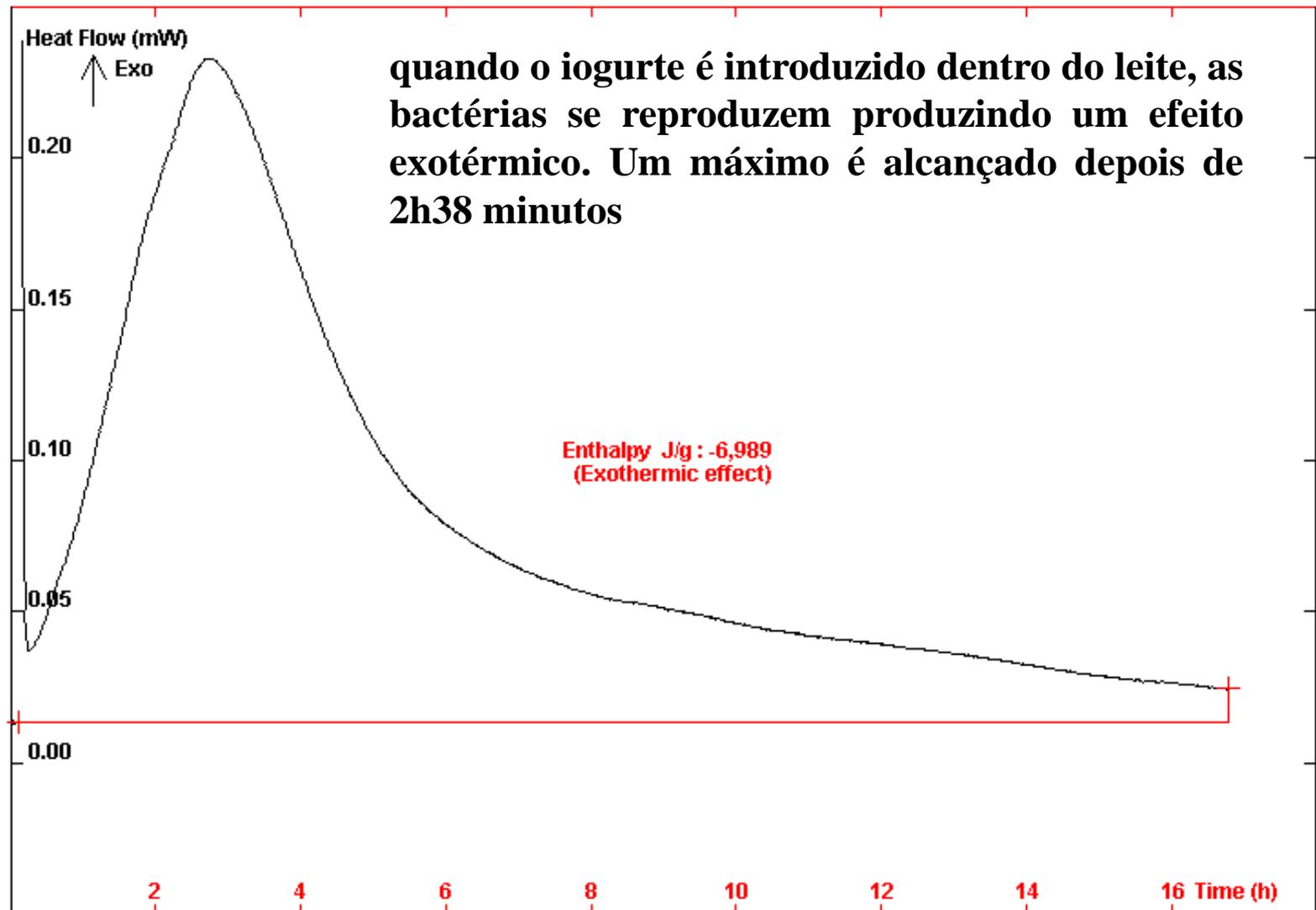
Transição Vítrea no PVC



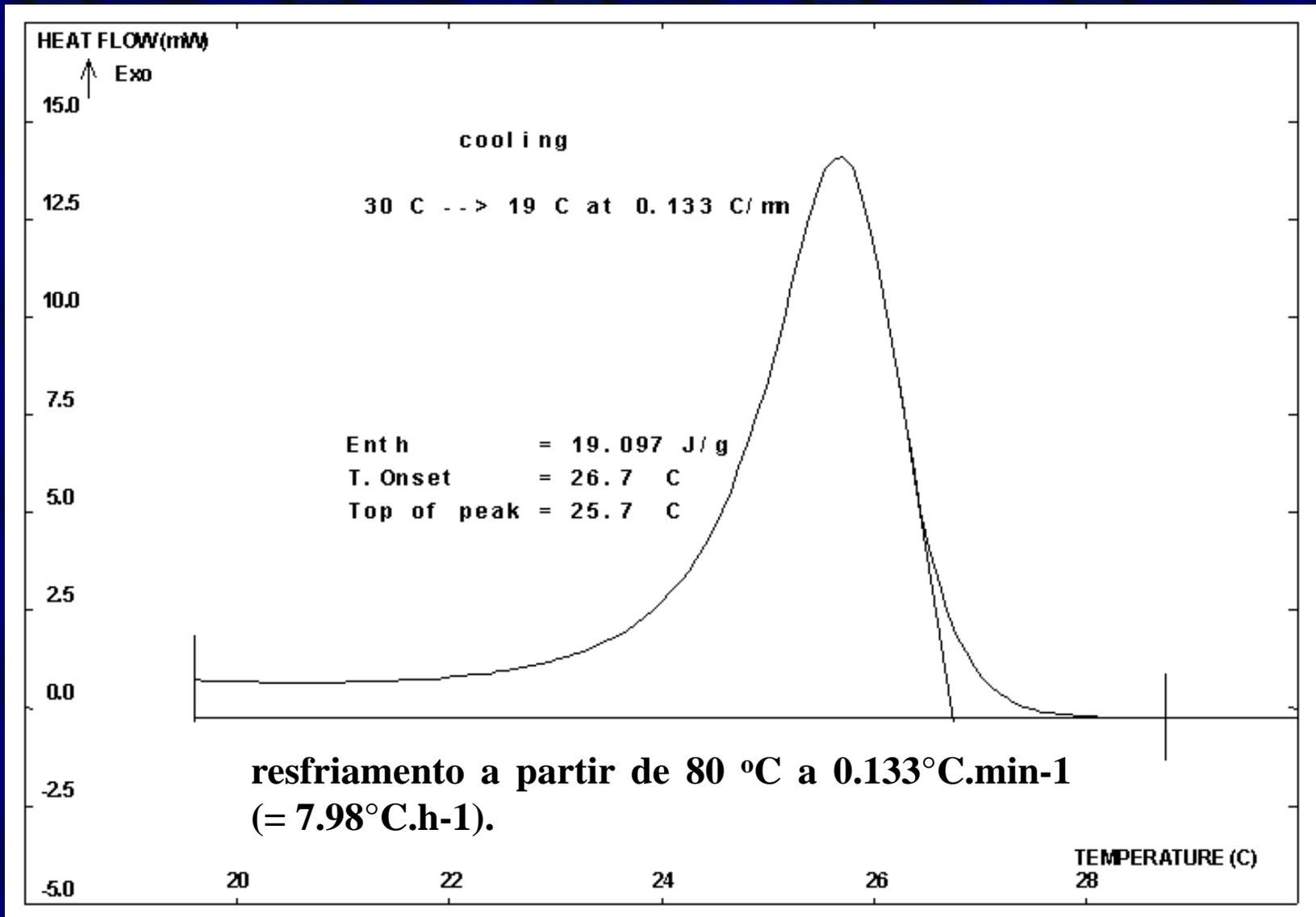
Fermentação



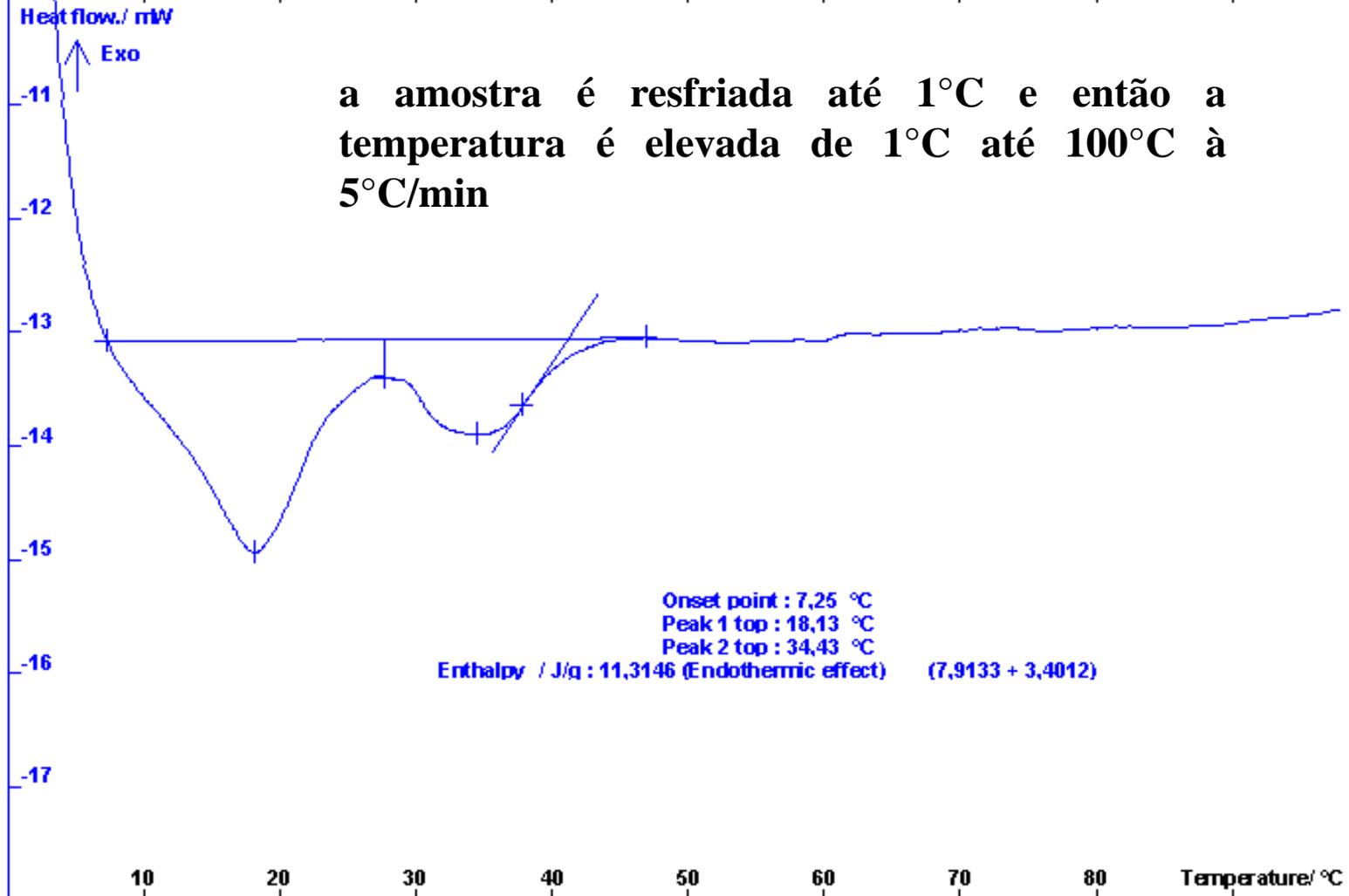
Iogurte



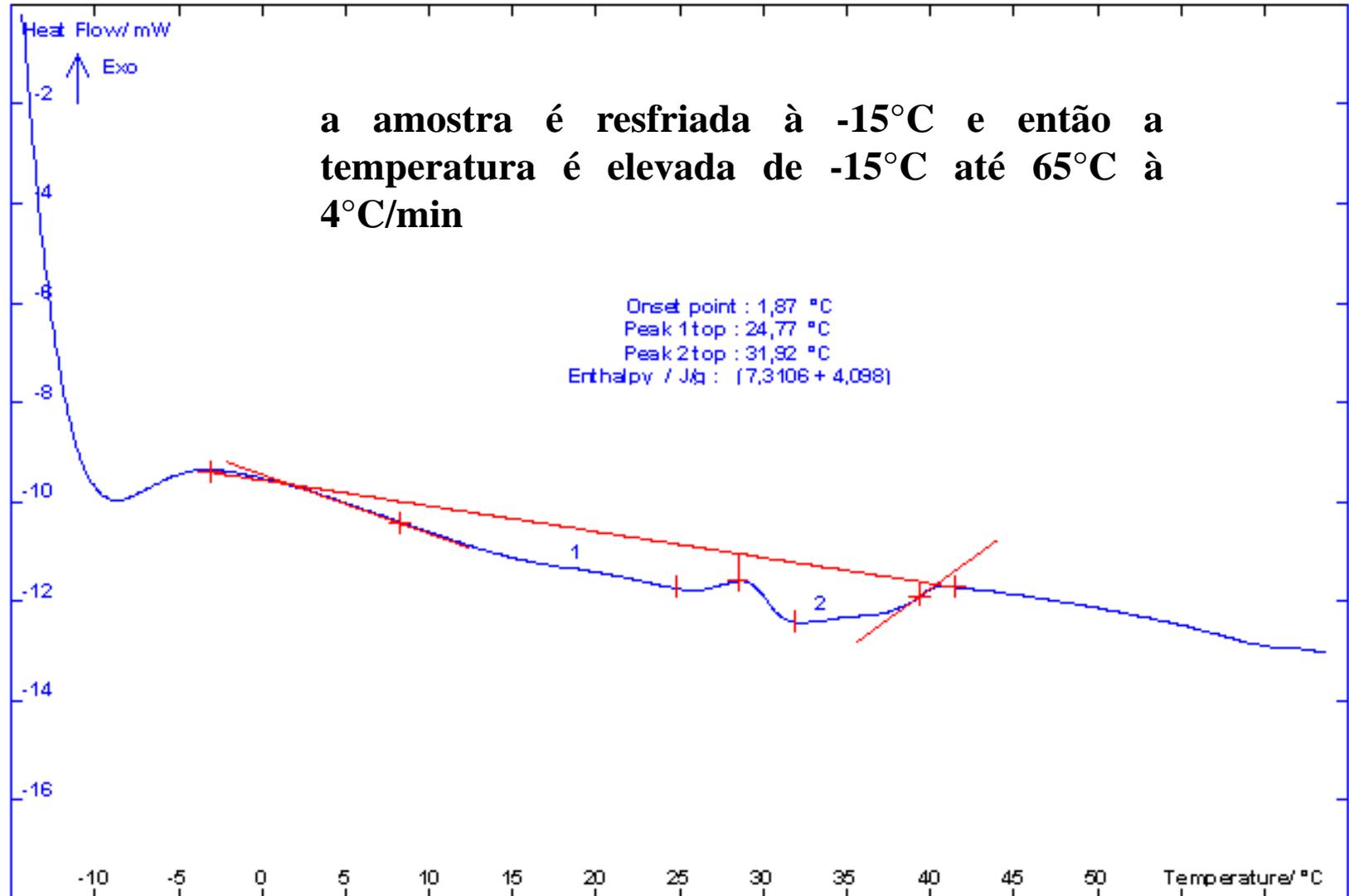
Cristalização de Óleo



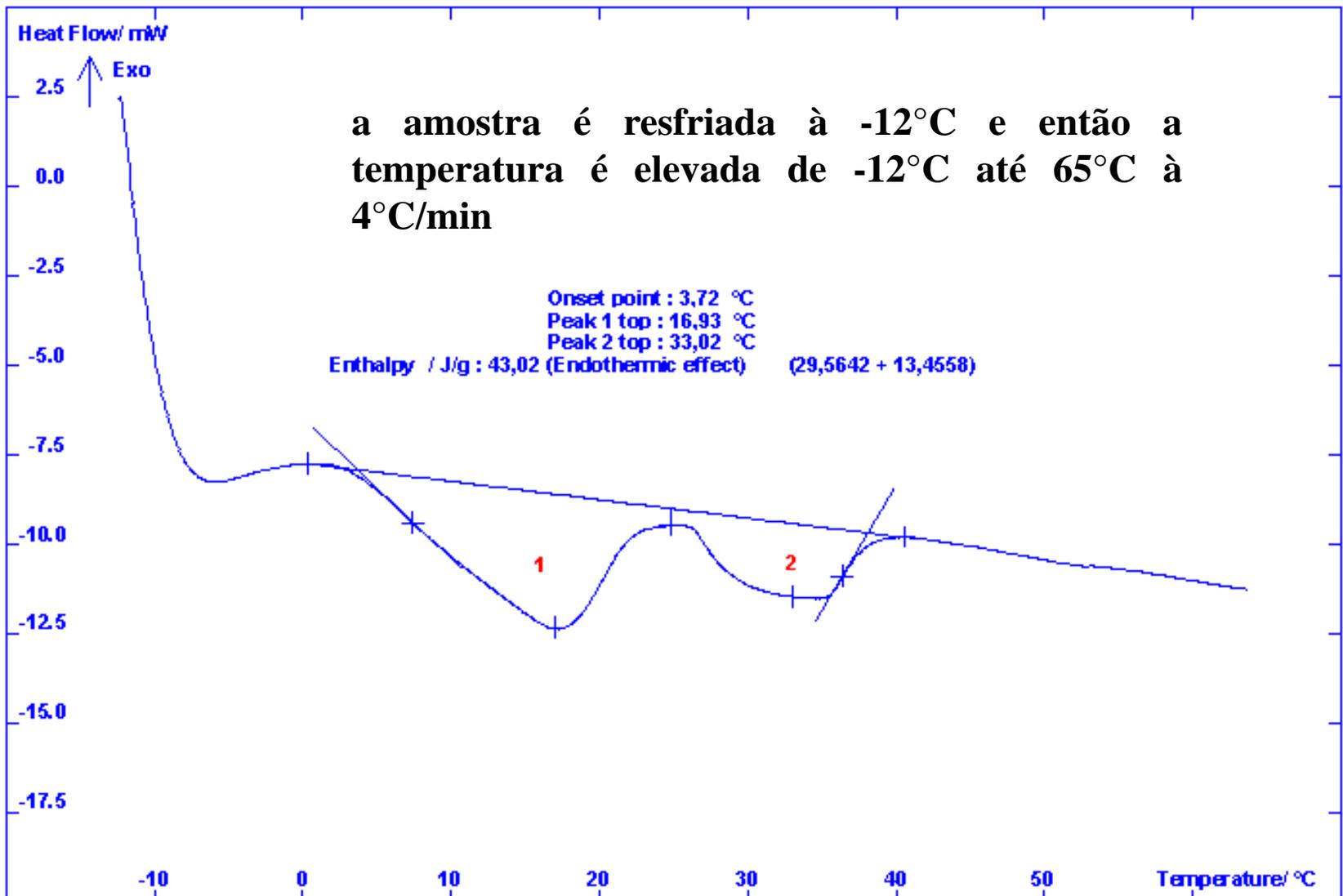
Fusão de Queijo



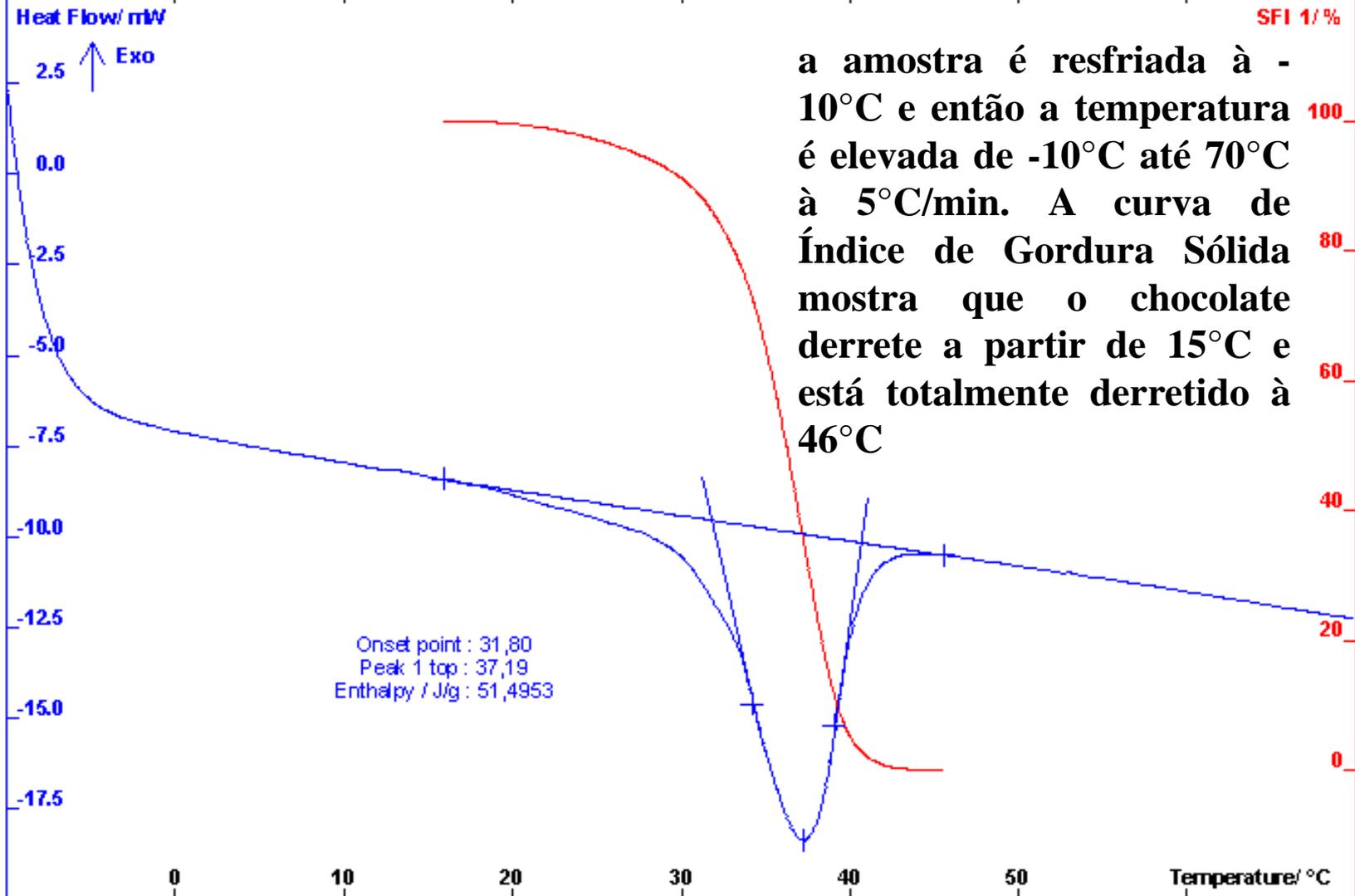
Fusão de Margarina



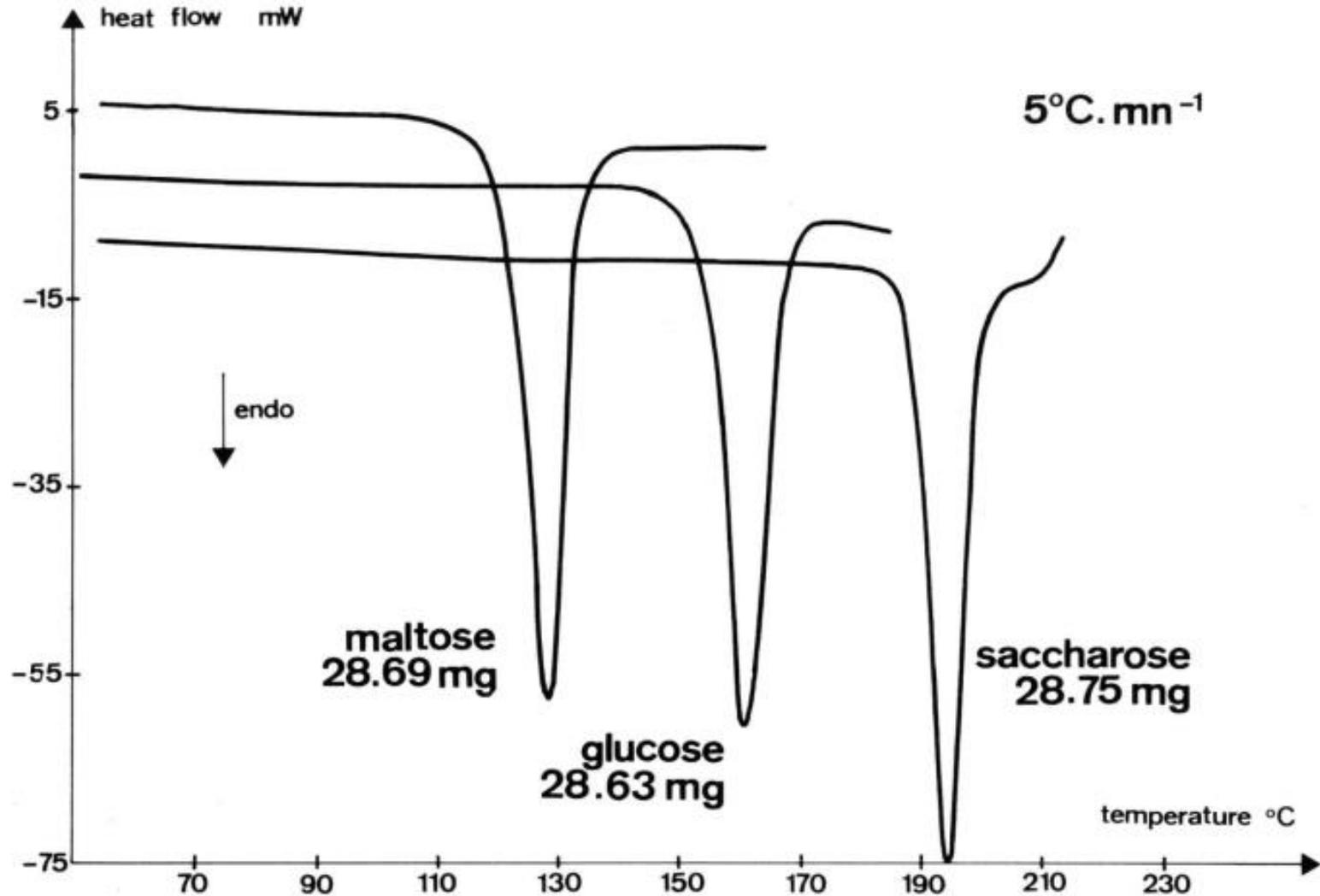
Fusão de Manteiga



Fusão de Chocolate



Fusão de Açúcares



Caracterização Física de Materiais

■ Caracterização Térmica – Análise Térmica

- ◆ Termogravimetria

- ◆ Análise Térmica Diferencial

- ◆ Calorimetria Exploratória Diferencial

- ◆ **Termodilatometria**



Termodilatometria

Termodilatometria é uma técnica de análise térmica onde a dimensão da amostra é registrada em função da temperatura ou do tempo.

Termodilatometria Isotérmica: a dimensão da amostra é registrada em função do tempo, a temperatura constante.

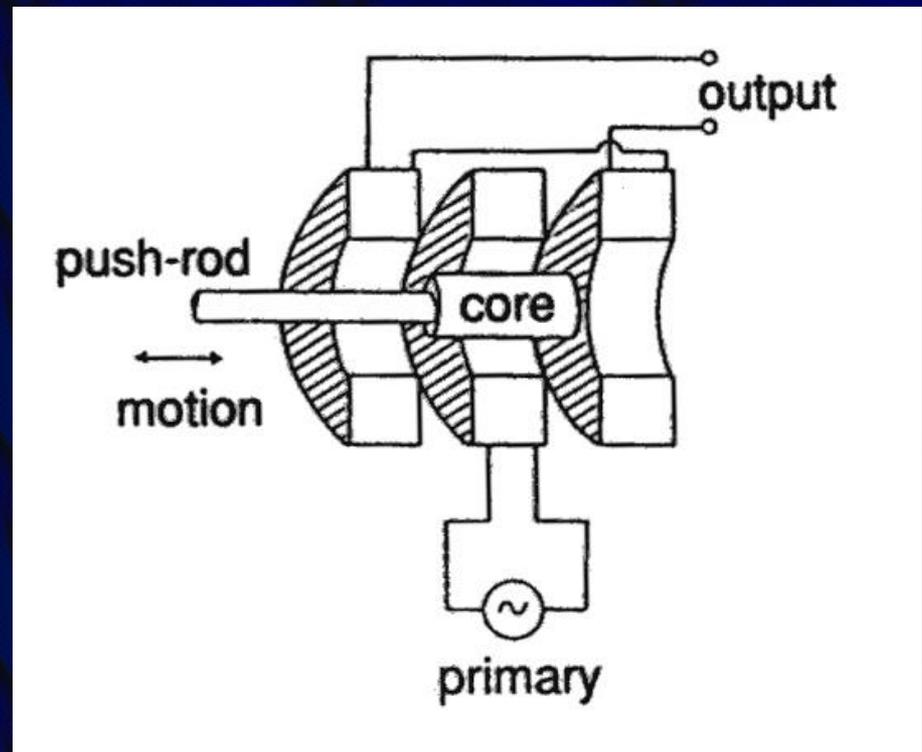
Termodilatometria Dinâmica: a dimensão da amostra é registrada sob condições nas quais a amostra é submetida a um programa de aquecimento ou resfriamento predeterminado, normalmente linear.

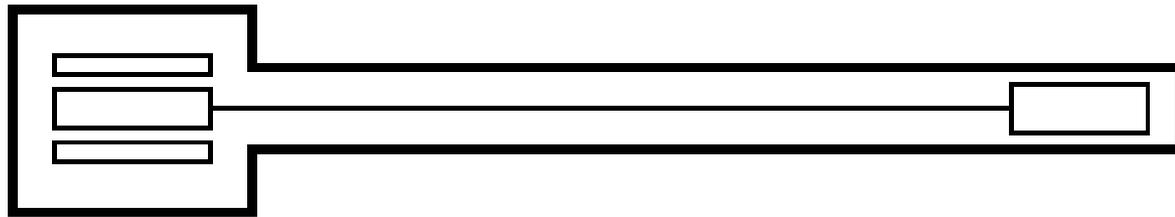
Termodilatometria

As variações da dimensão da amostra são detectadas por um transdutor LVDT. A variação de dimensão pode ser expressa em termos absolutos (mícron) ou em termos relativos, com base na dimensão inicial.

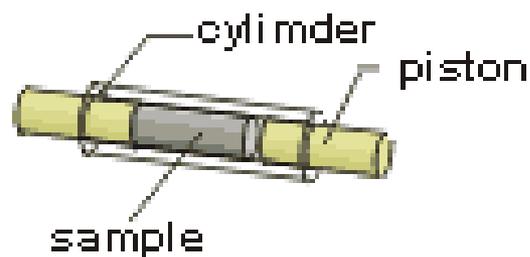
$$(L_t - L_o)/L_o$$

LVDT: Linear Voltage
Differential Transformer





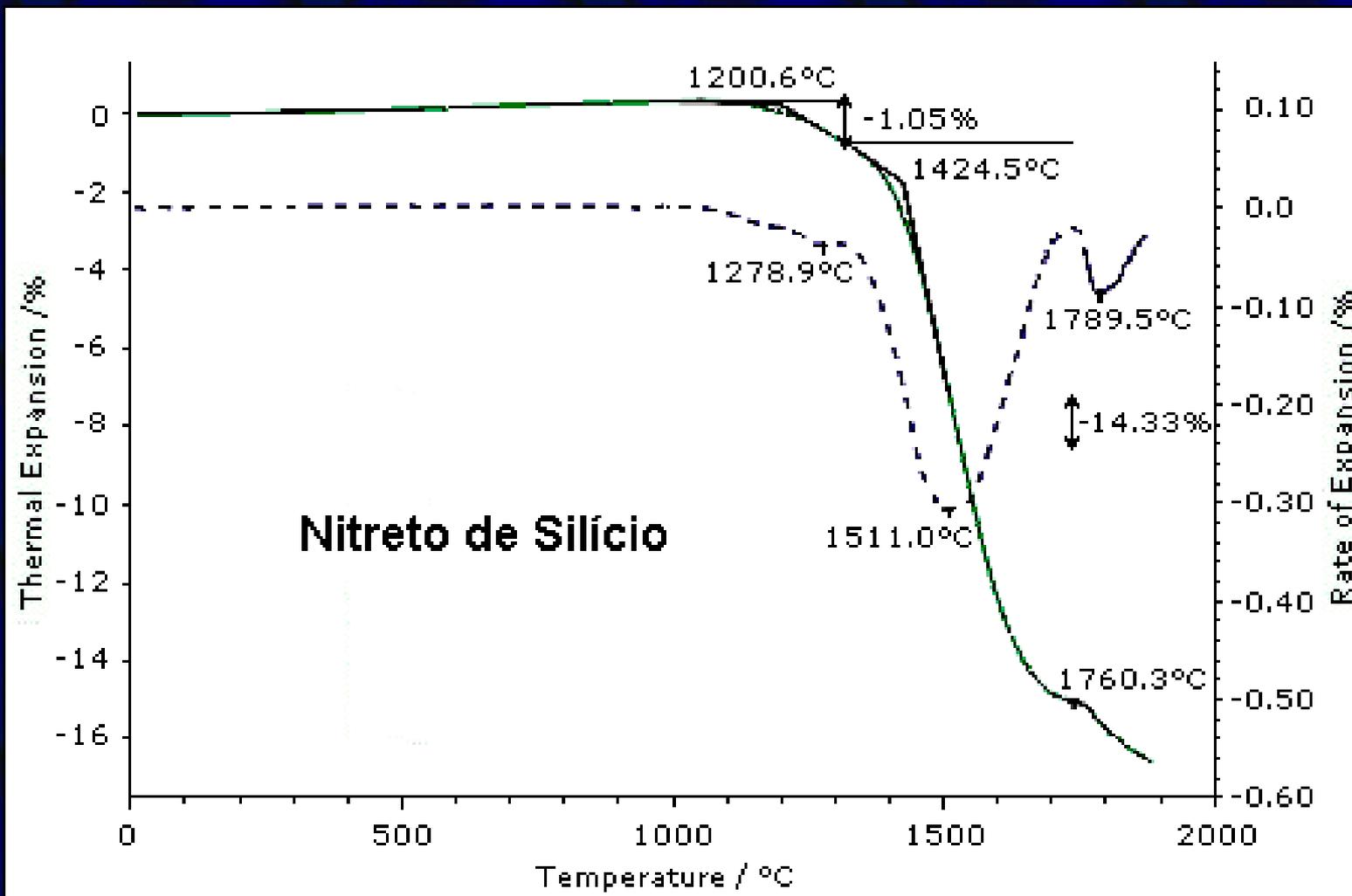
Rod-type sample holder



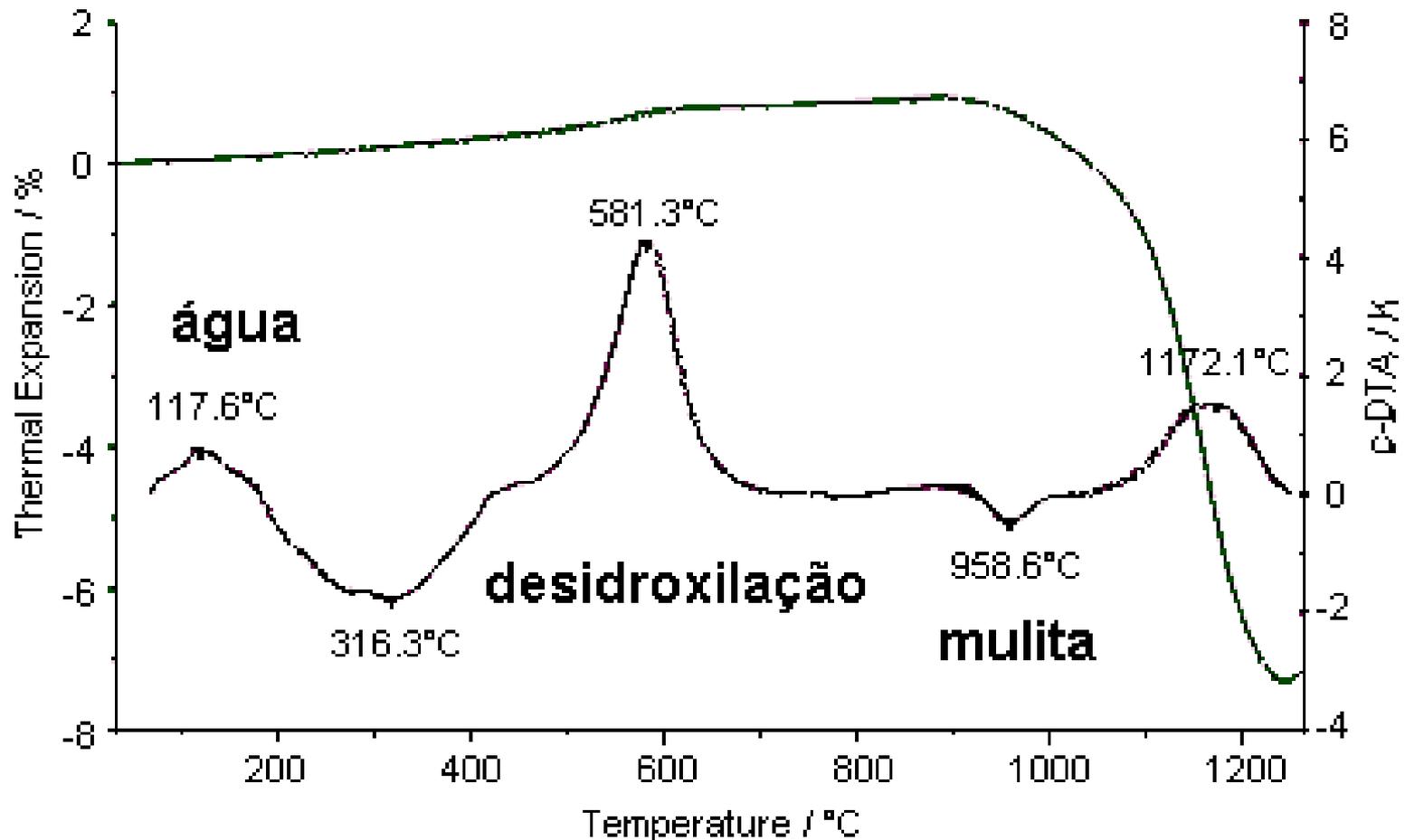
Sample container for pastes, powders and molten metals

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

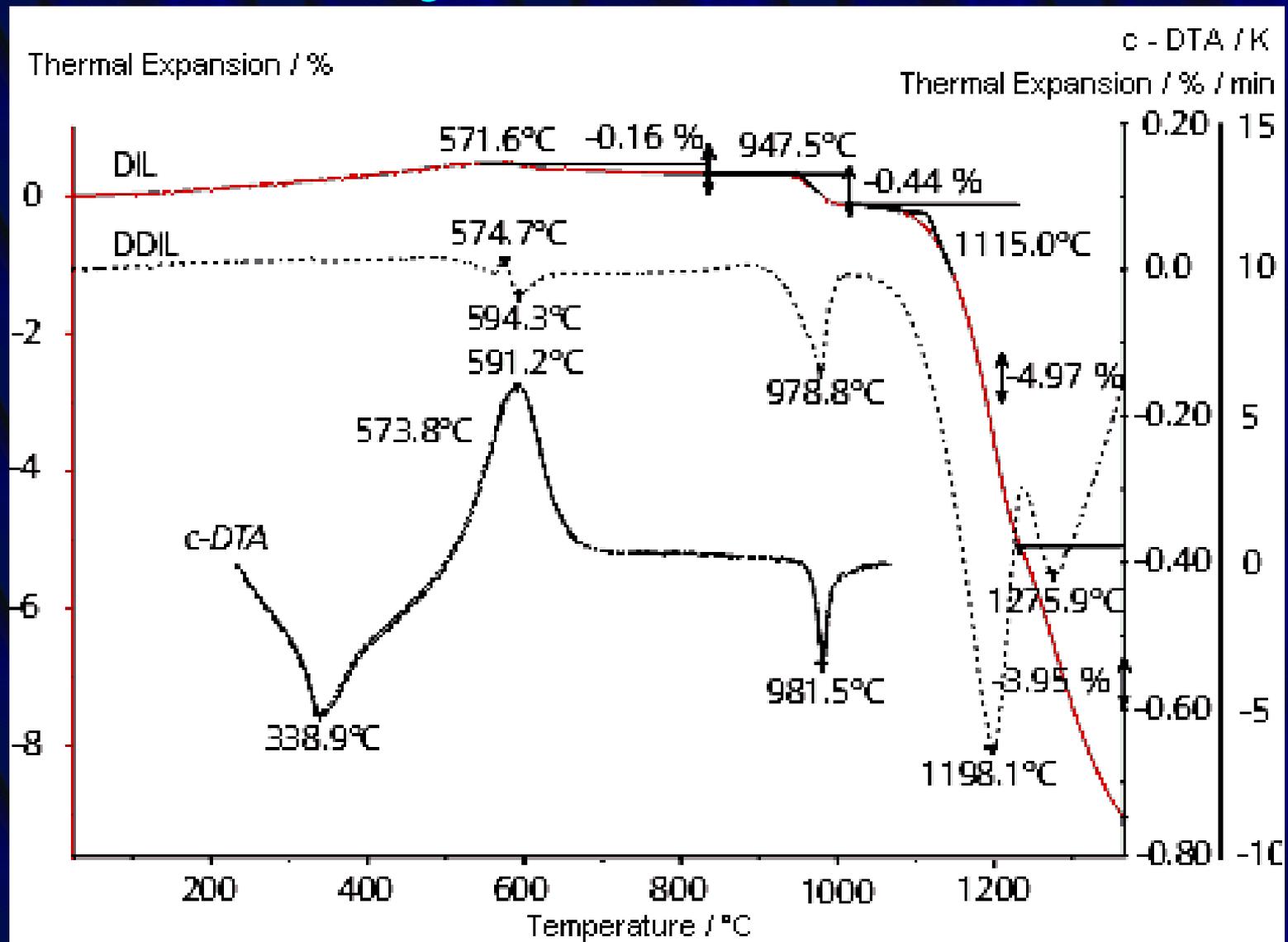
Sinterização do Nitreto de Silício



Sinterização de Piso Cerâmico

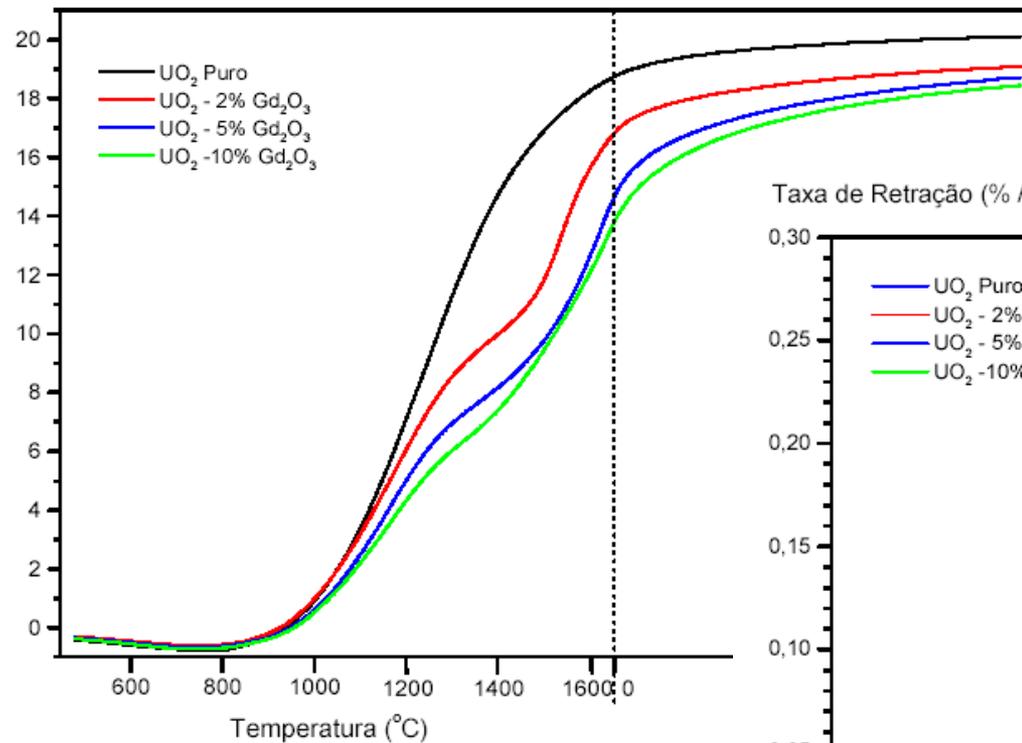


Sinterização de Piso Cerâmico

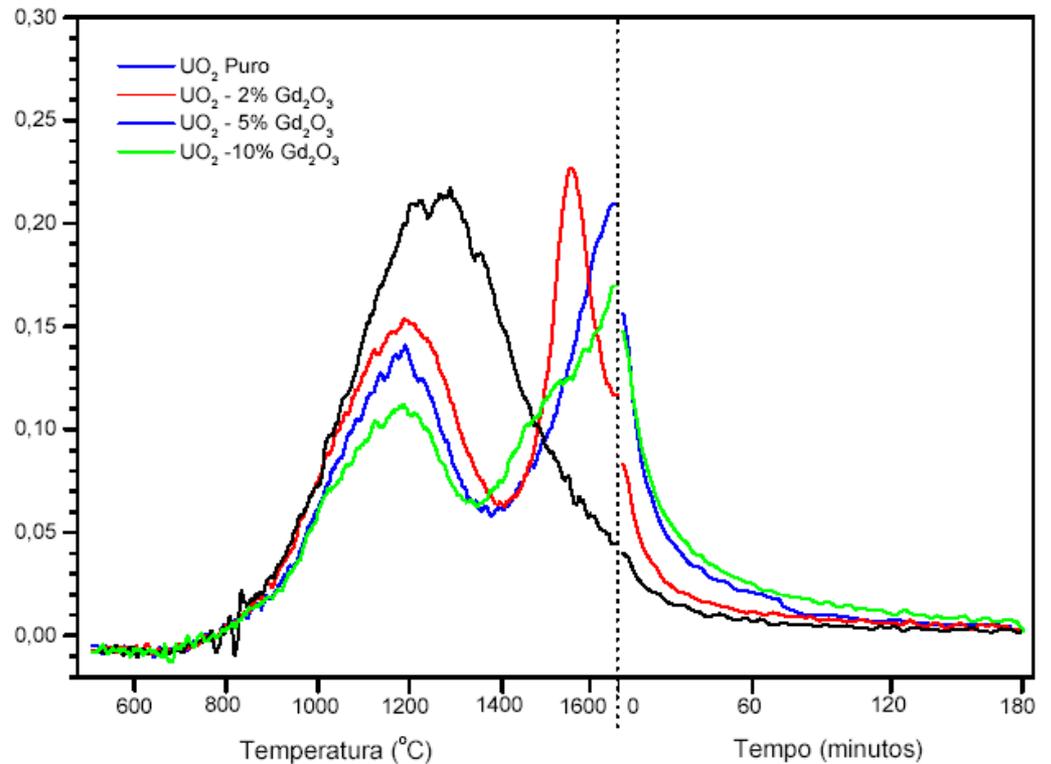


Sinterização de Combustível Nuclear

Retração $\Delta l/l_0$ (%)

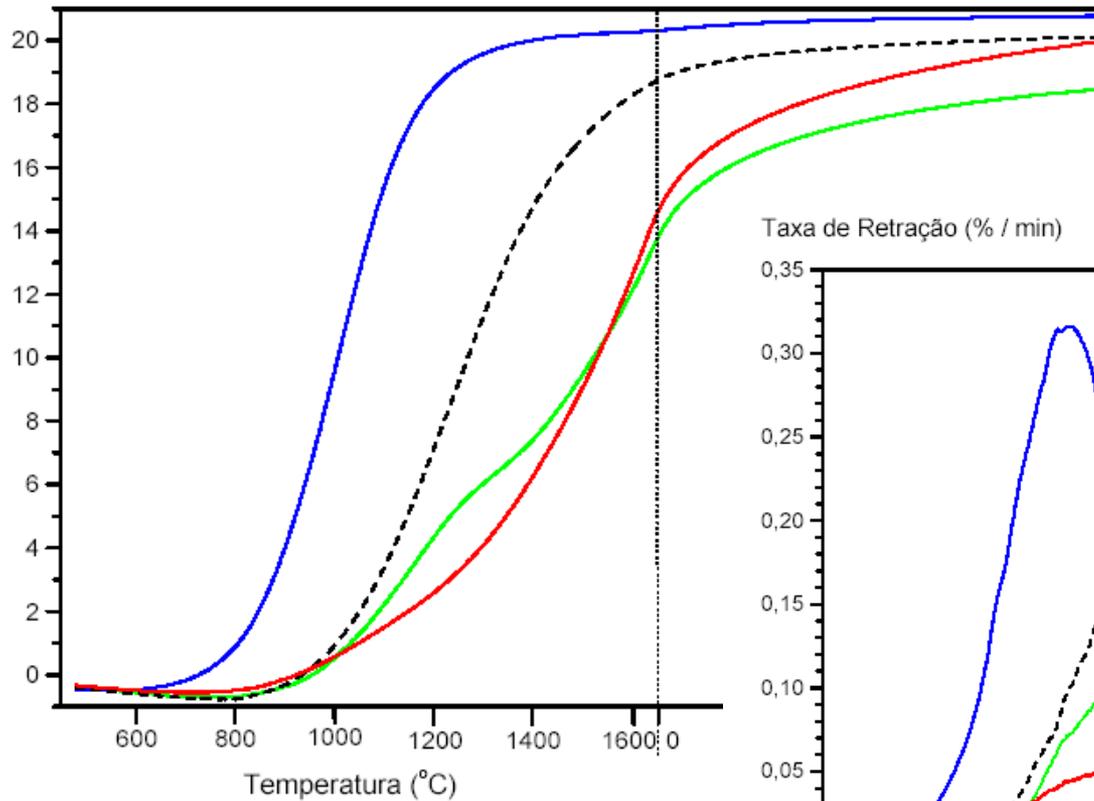


Taxa de Retração (% / min)

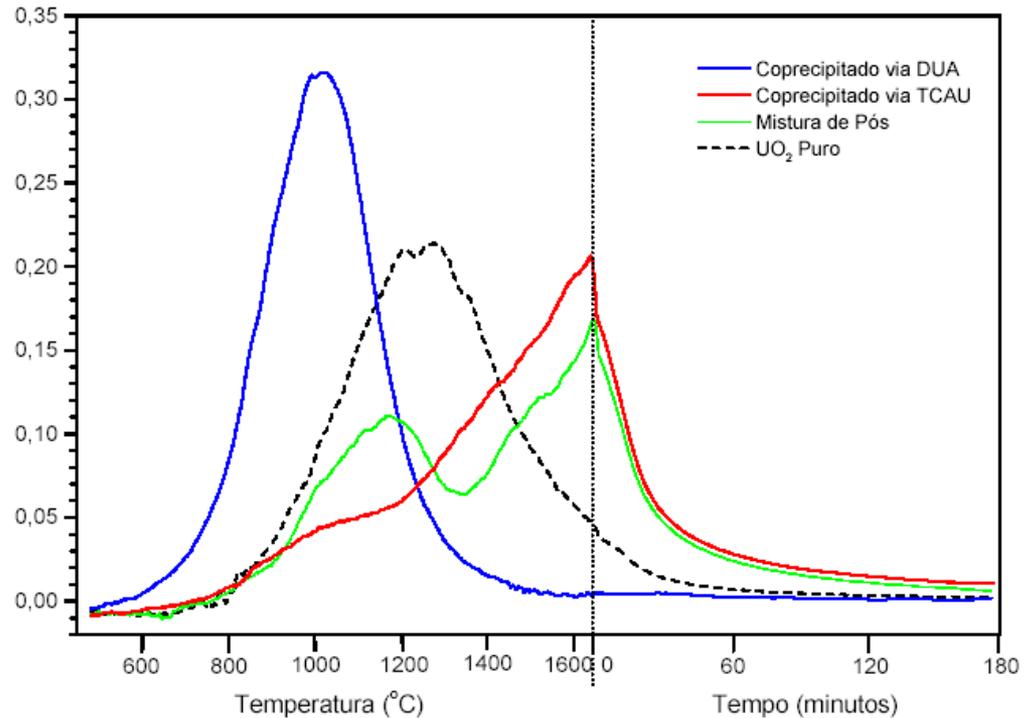


Sinterização de Combustível Nuclear

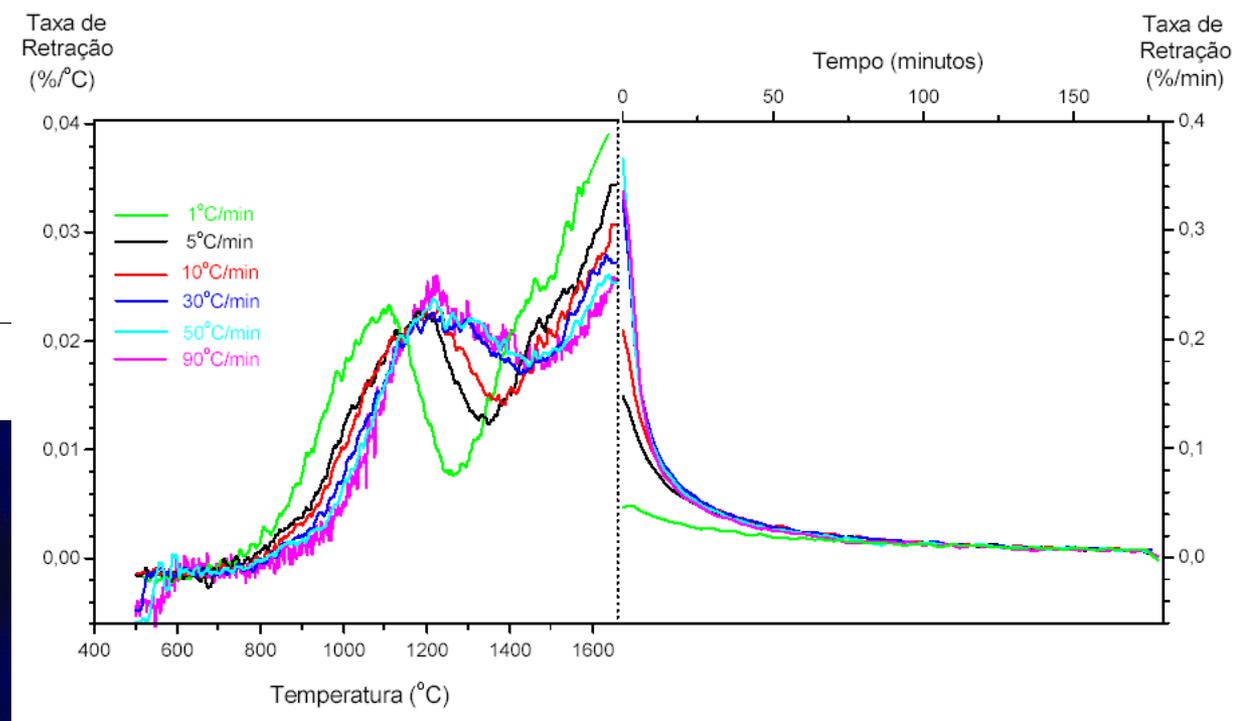
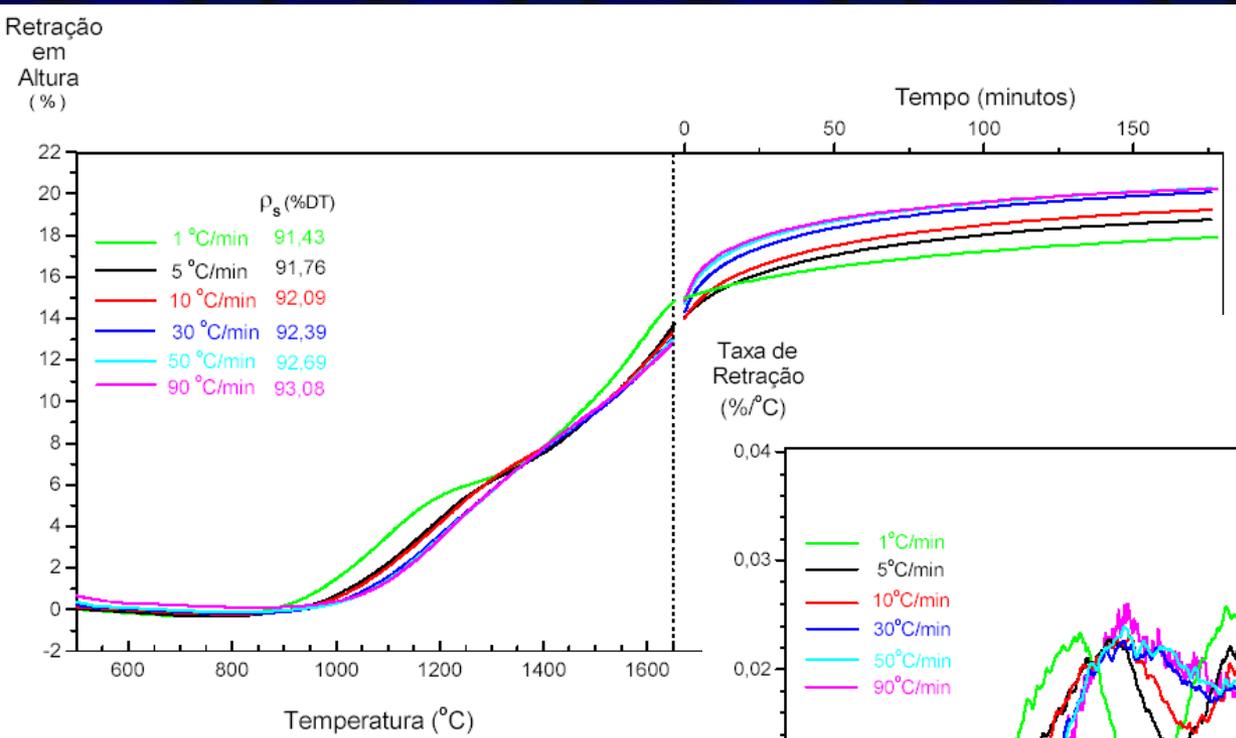
Retração $\Delta l/l_0$ (%)



Taxa de Retração (% / min)

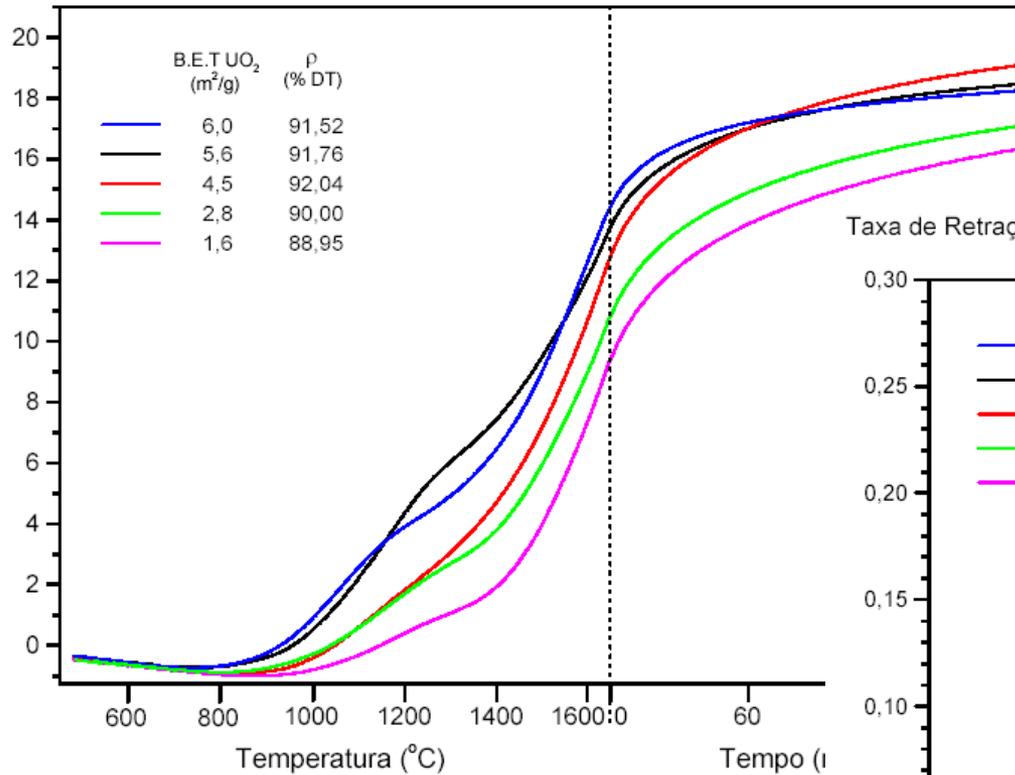


Sinterização de Combustível Nuclear

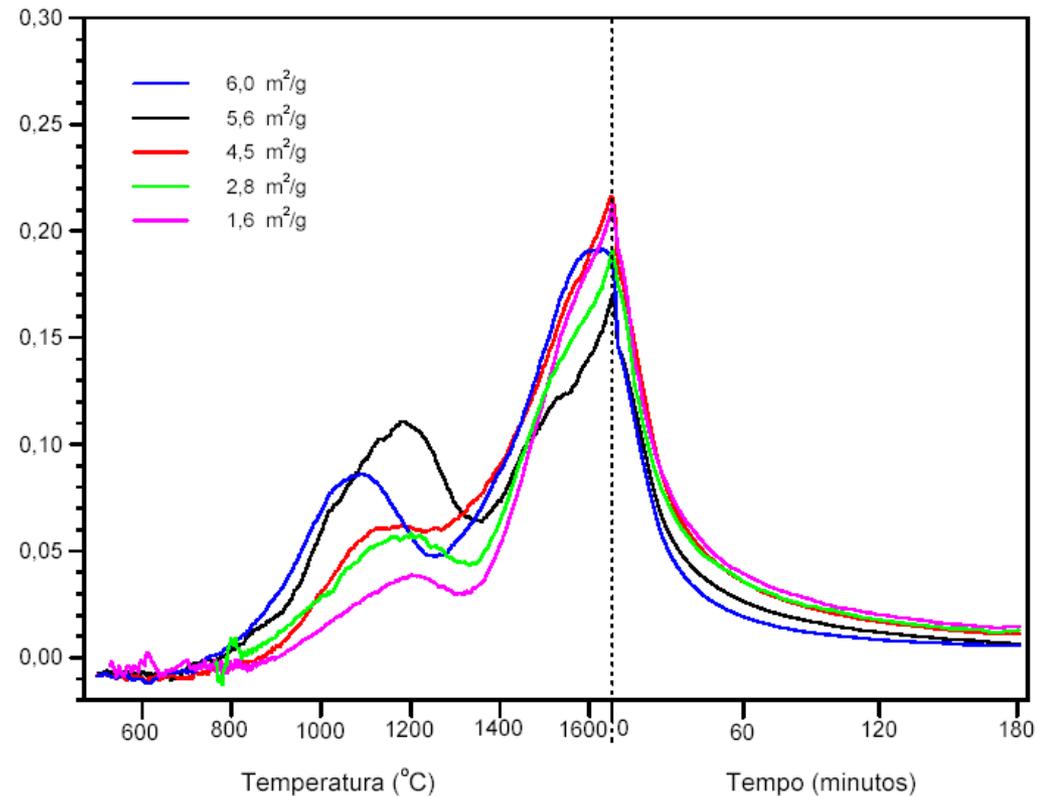


Sinterização de Combustível Nuclear

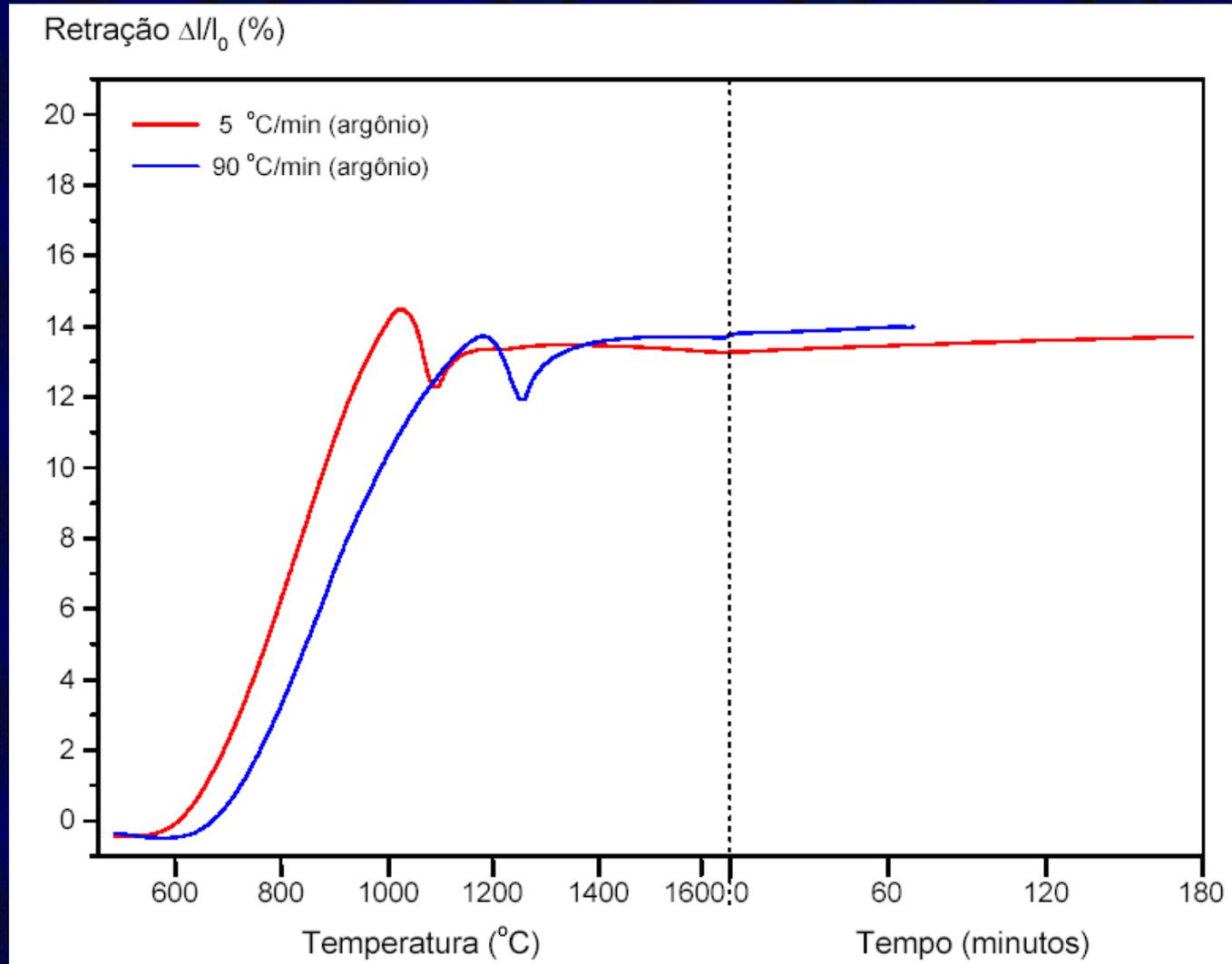
Retração $\Delta l/l_0$ (%)



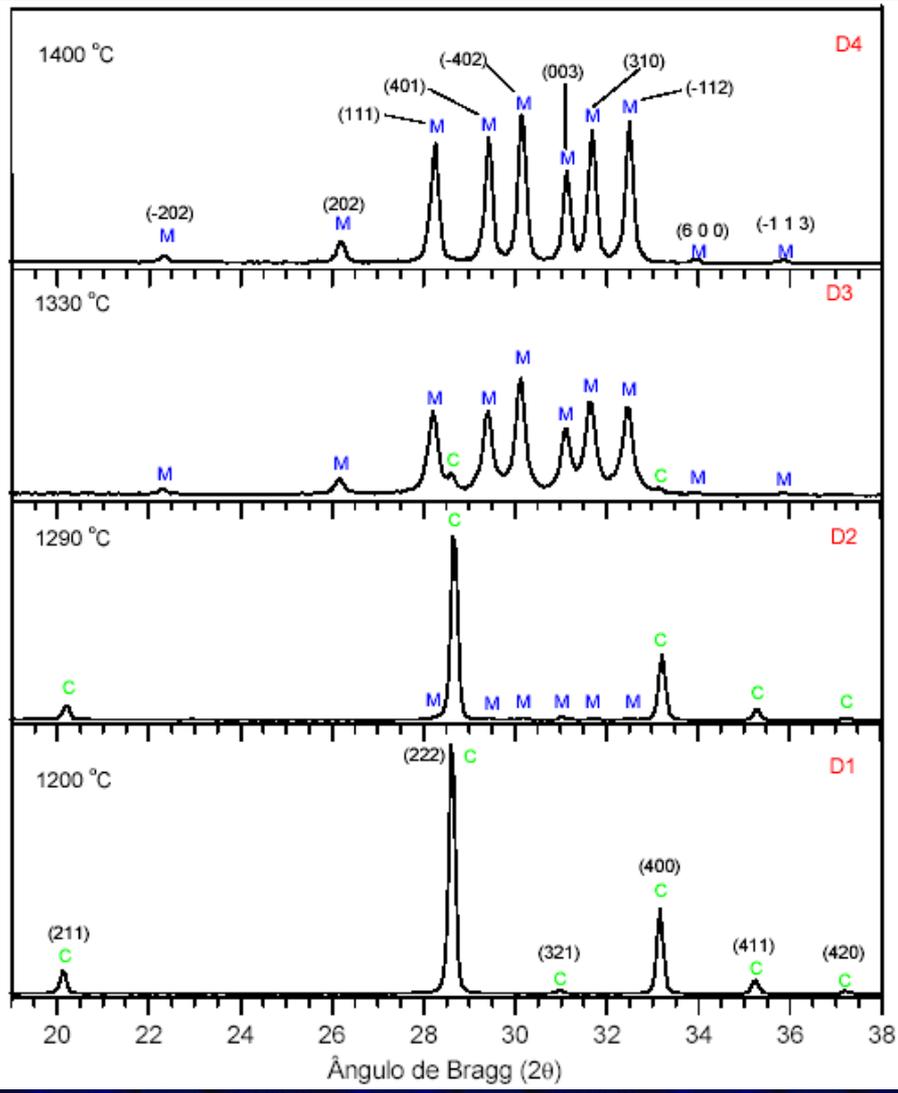
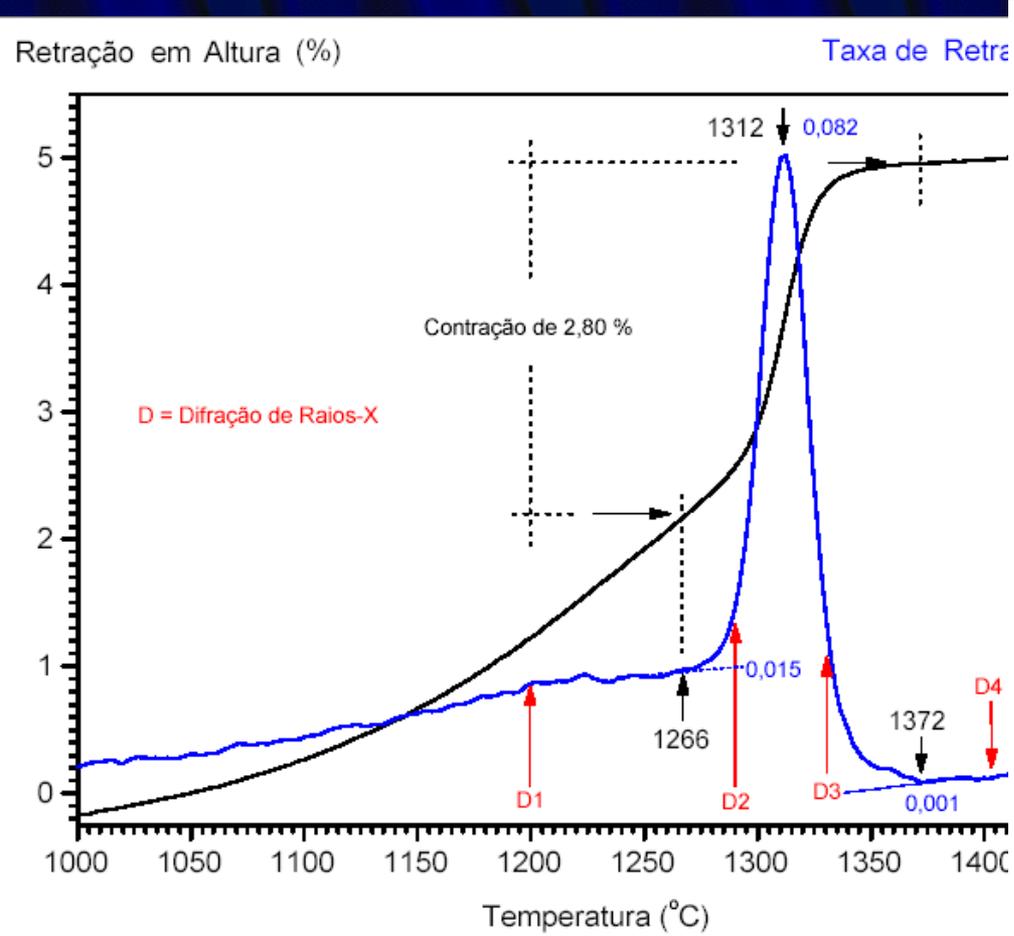
Taxa de Retração (% / min)



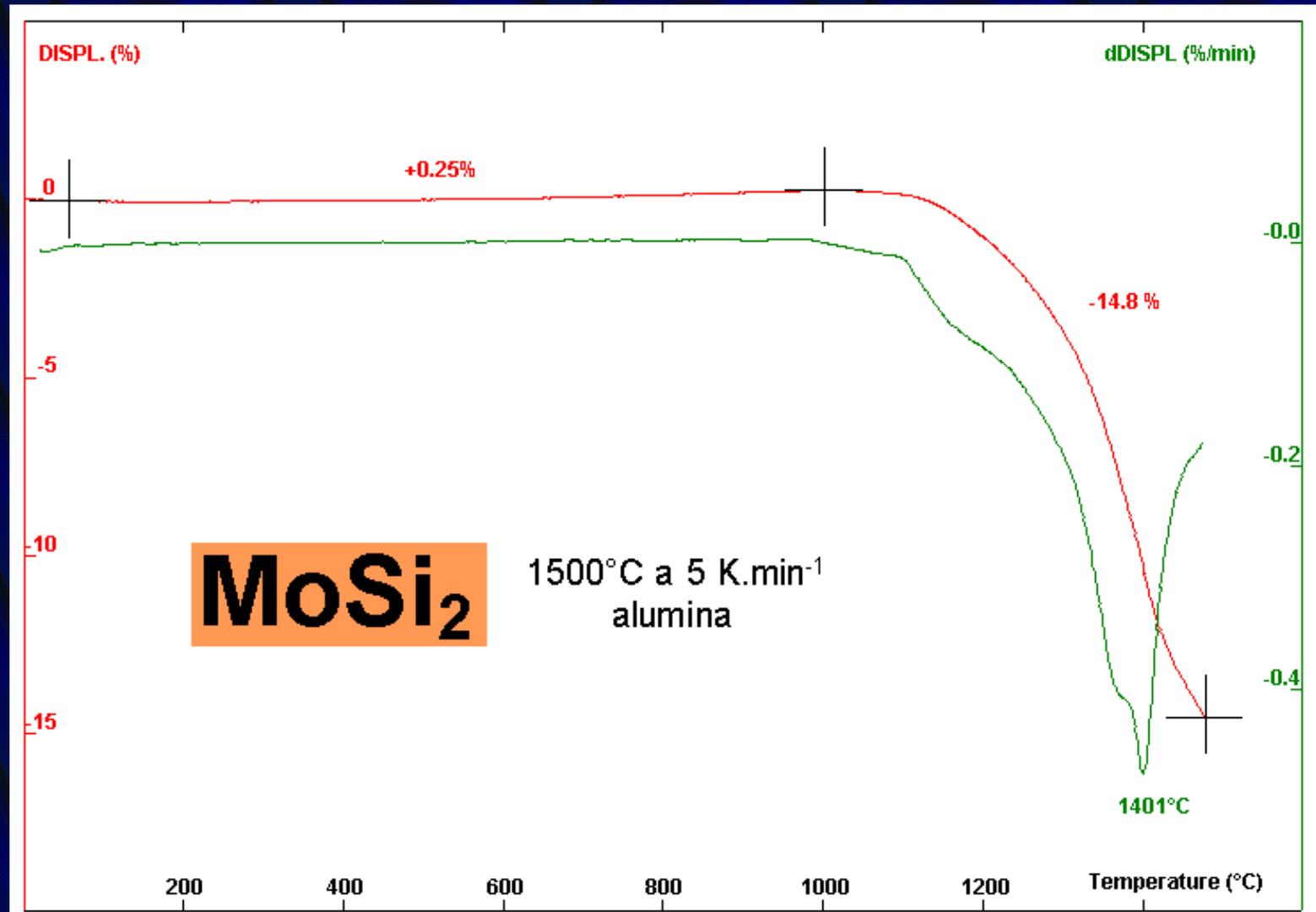
Sinterização de Combustível Nuclear



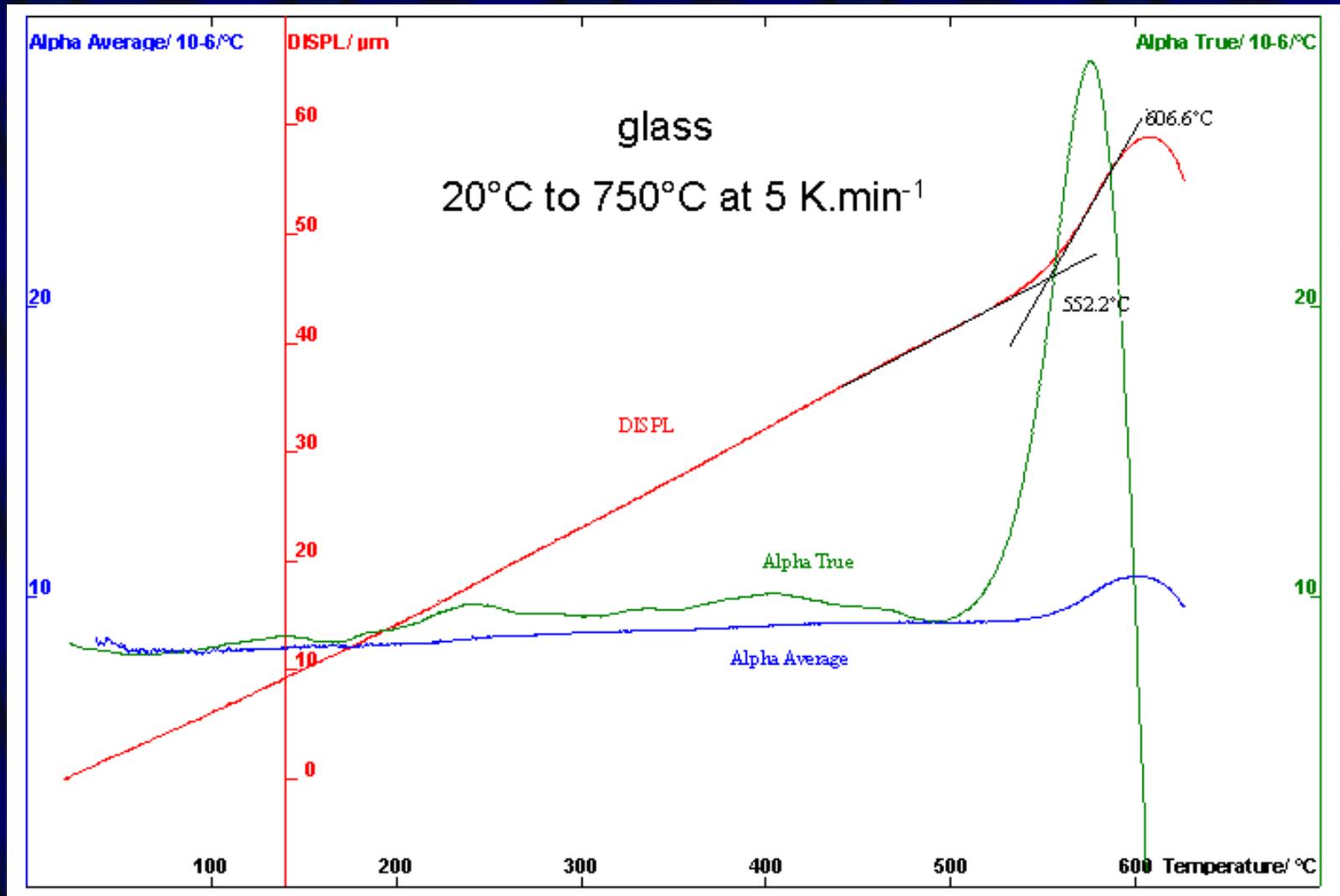
Transformação de Fase do Gd_2O_3



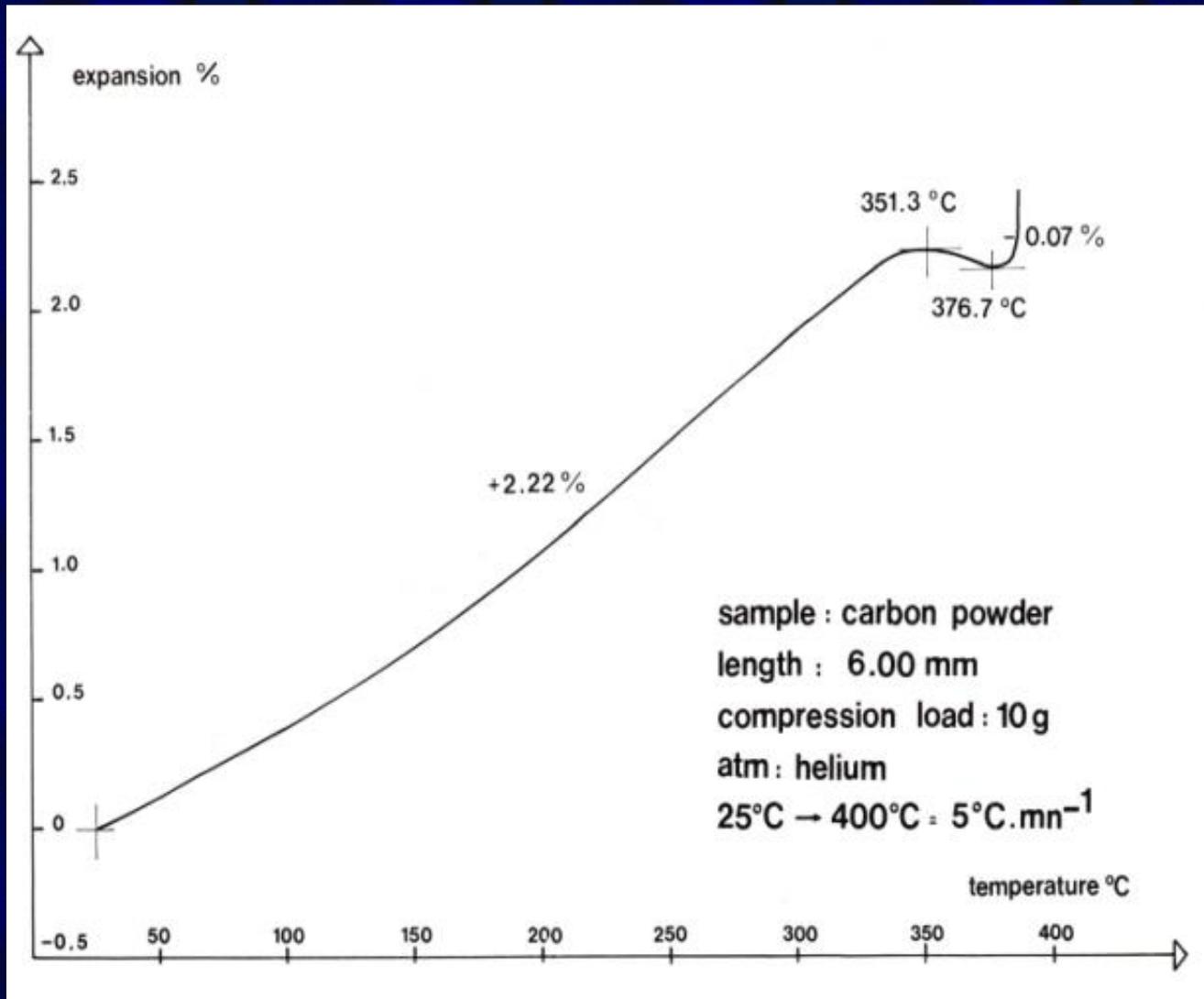
Sinterização do Siliceto de Molibdênio



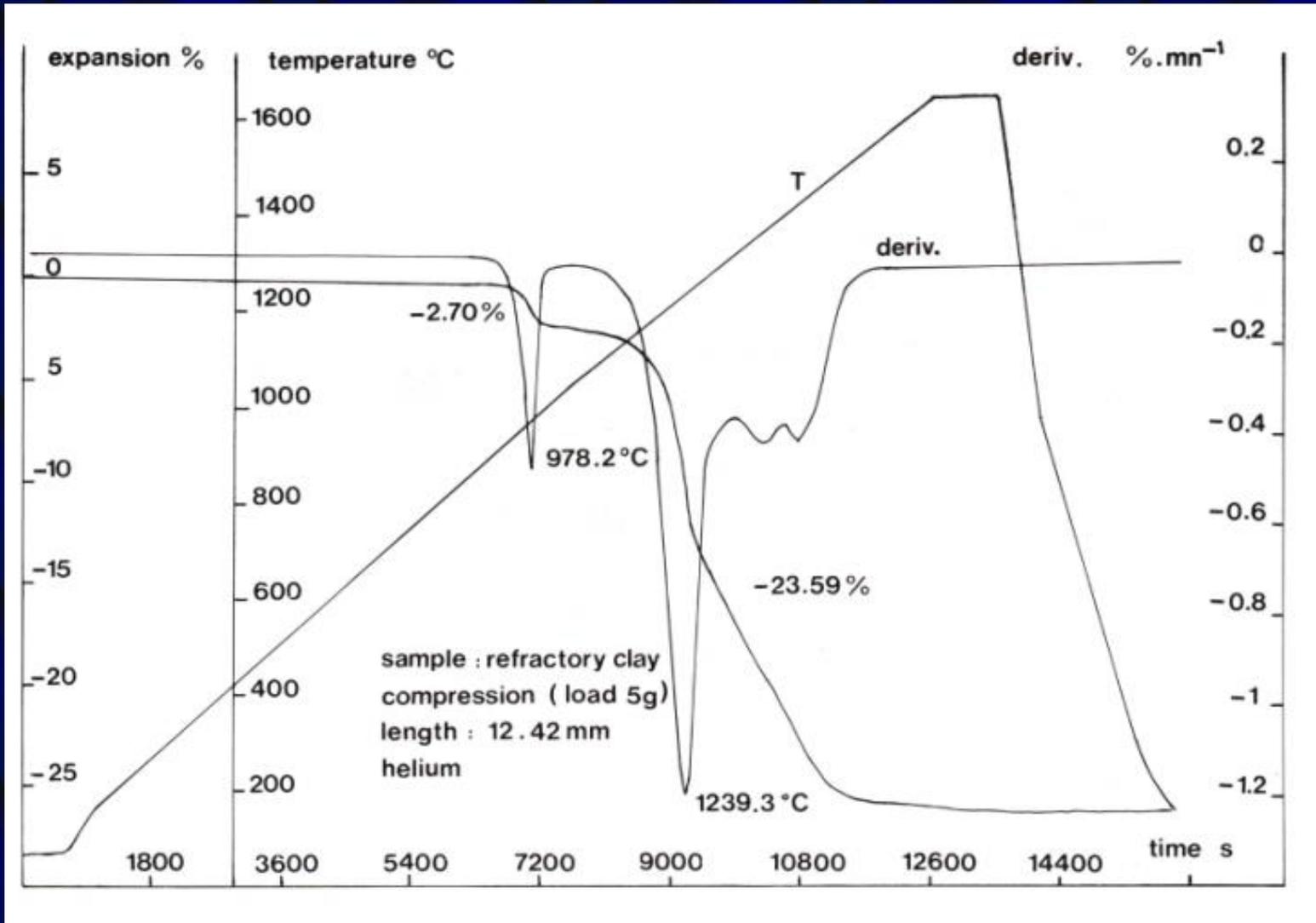
Expansão de um Vidro



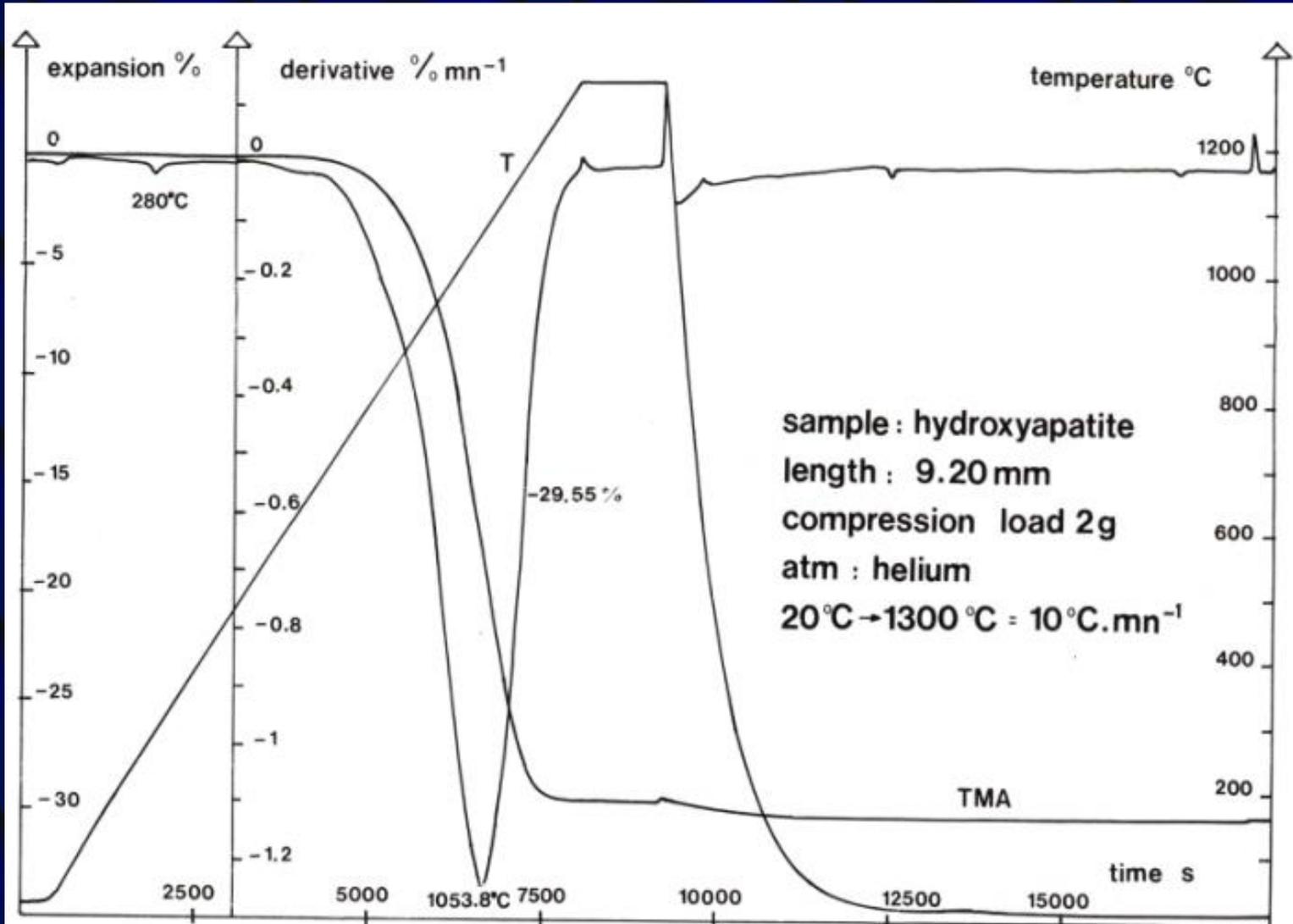
Expansão de Pós



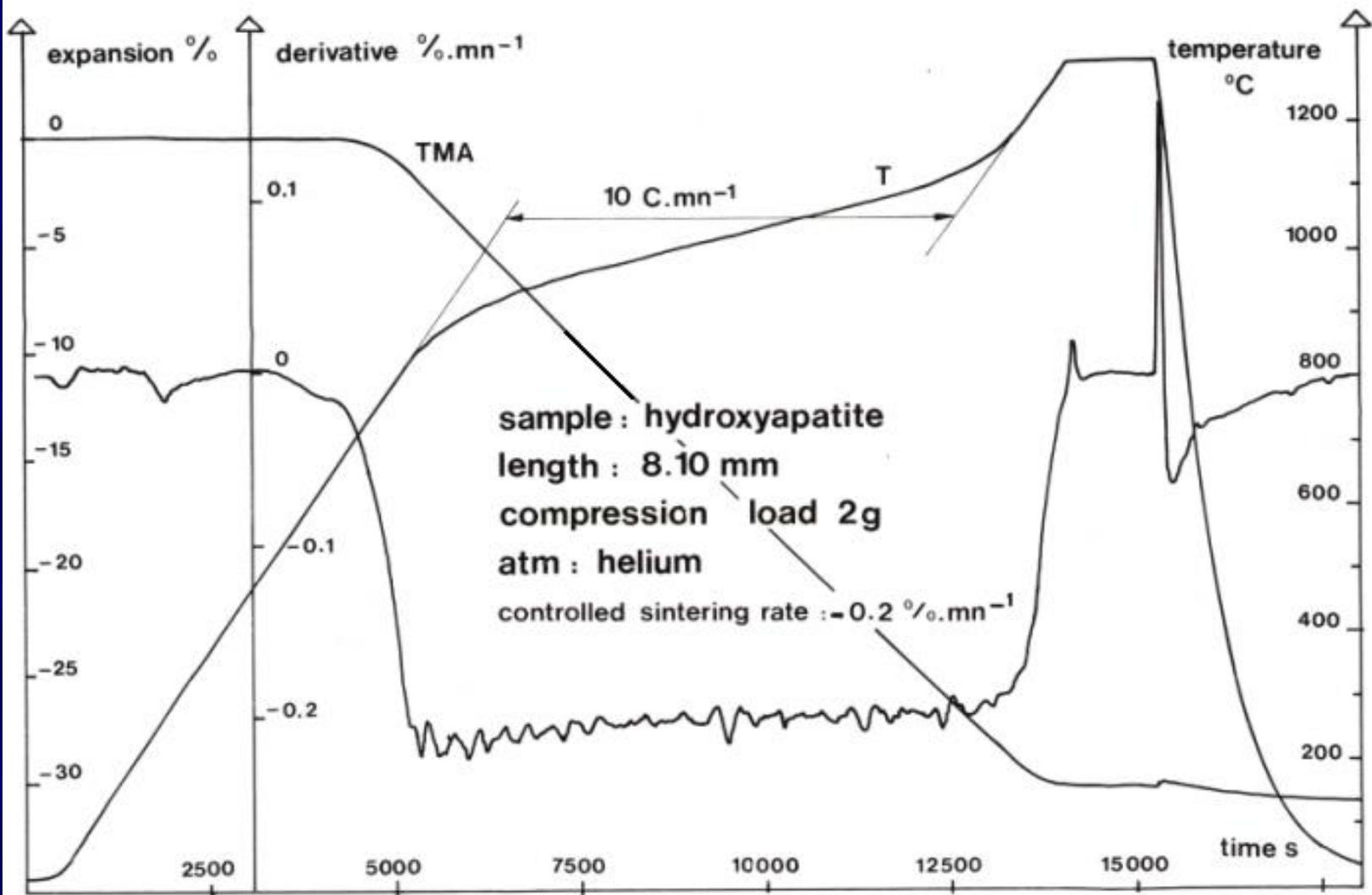
Teste de Fabricação



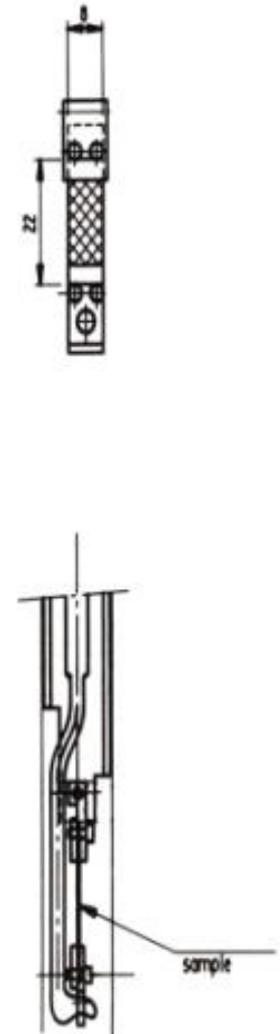
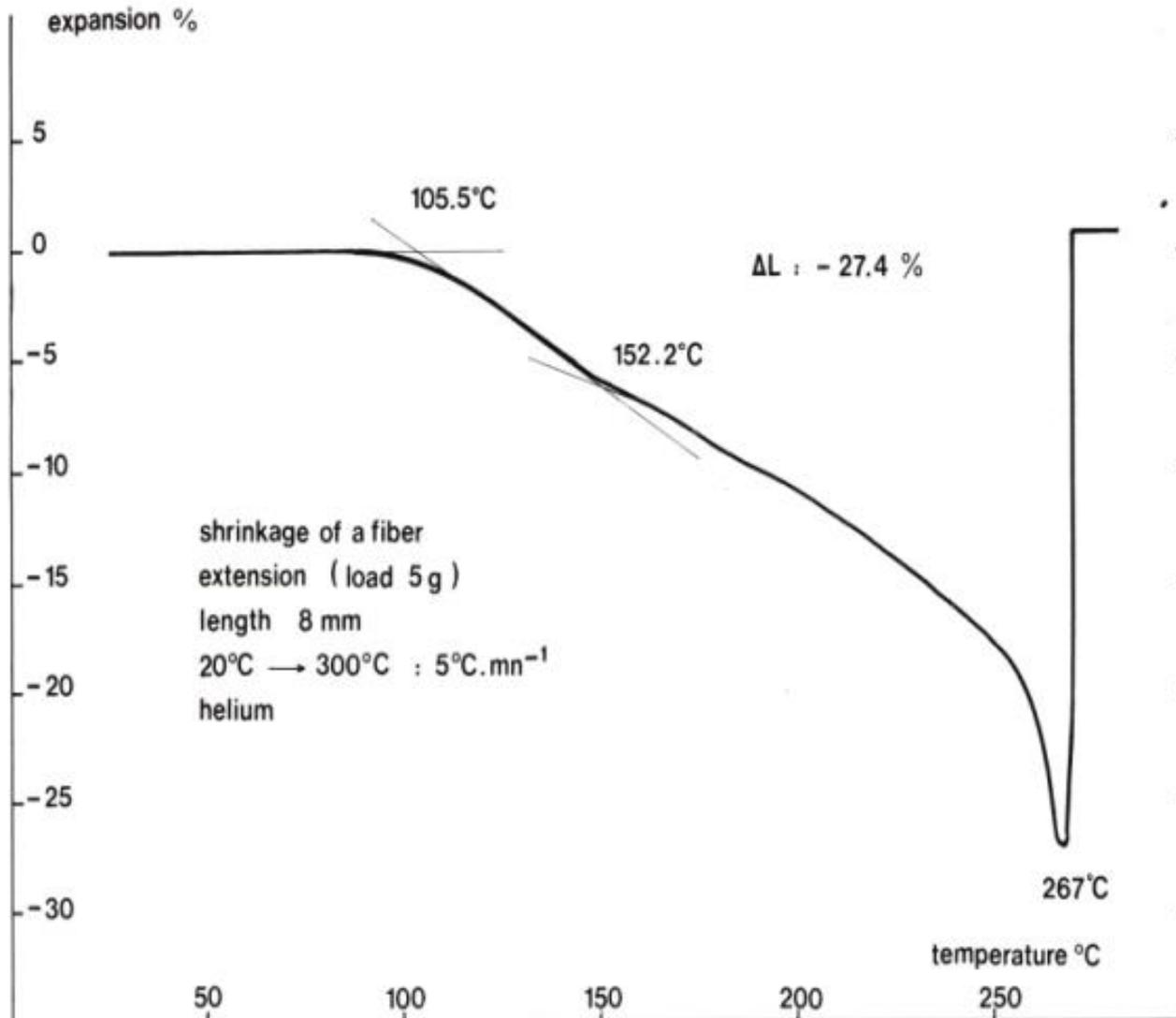
Teste de Fabricação



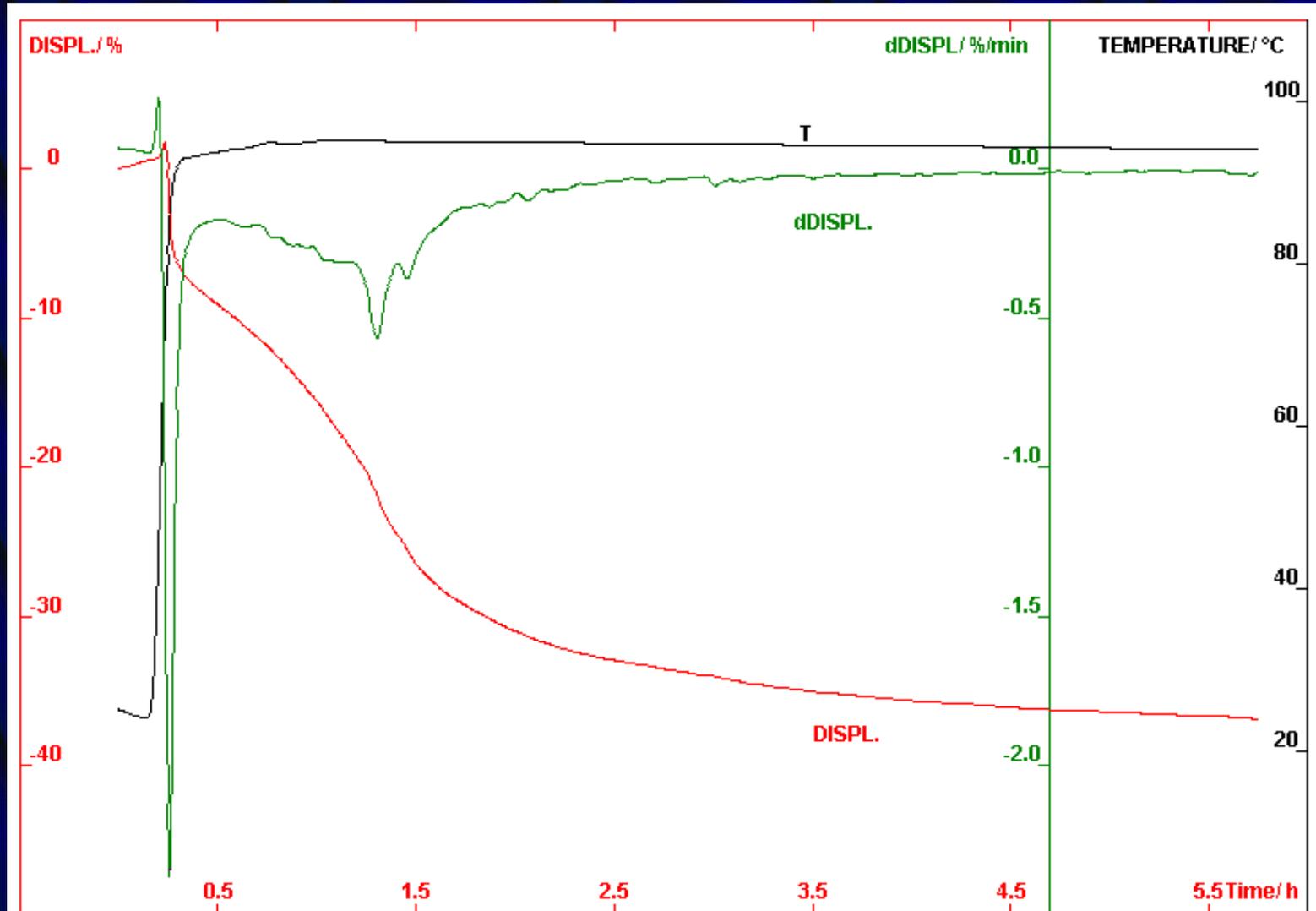
Teste de Fabricação



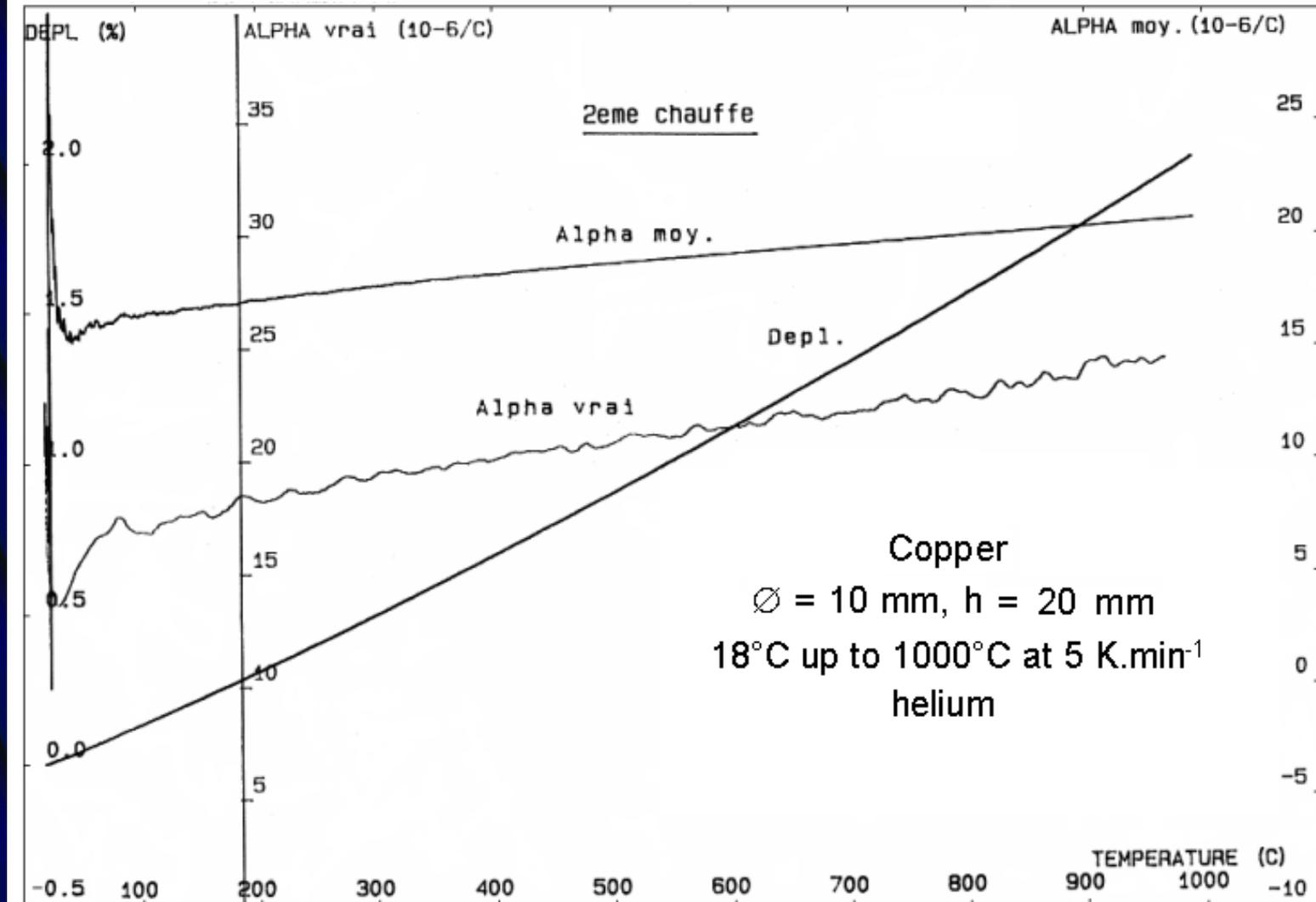
Estudo de Fibras



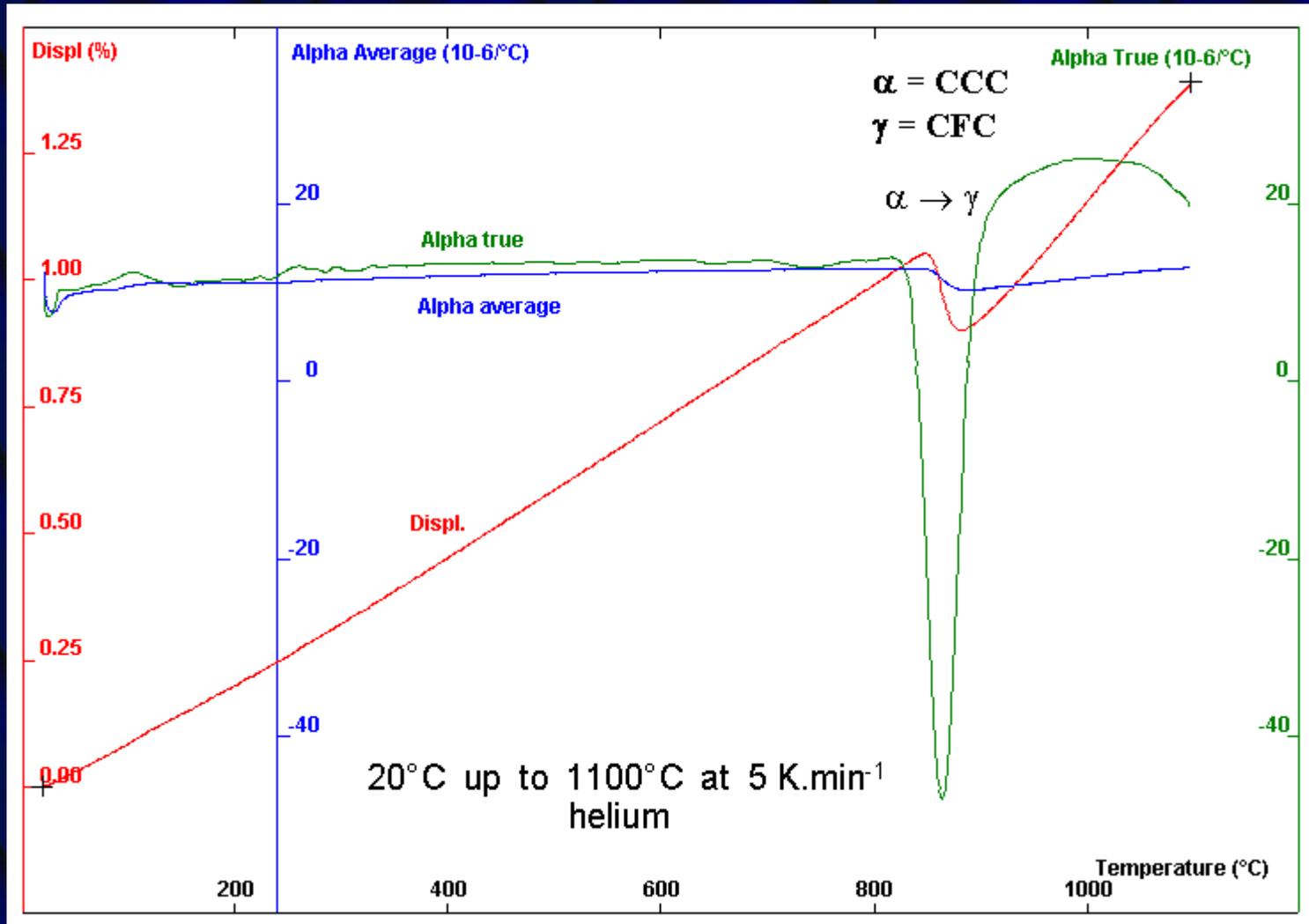
Cozimento da Batata



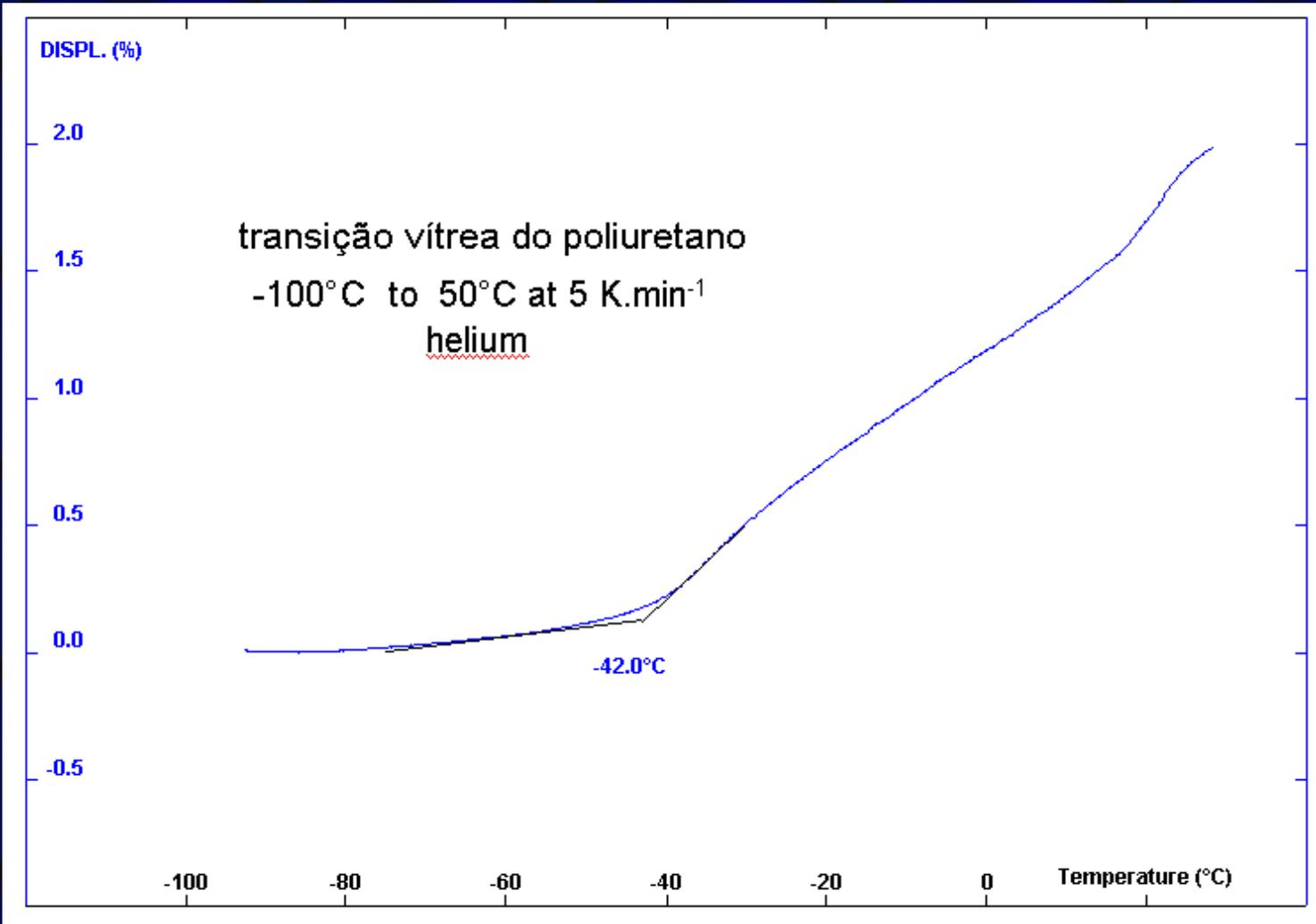
Coeficiente de Expansão



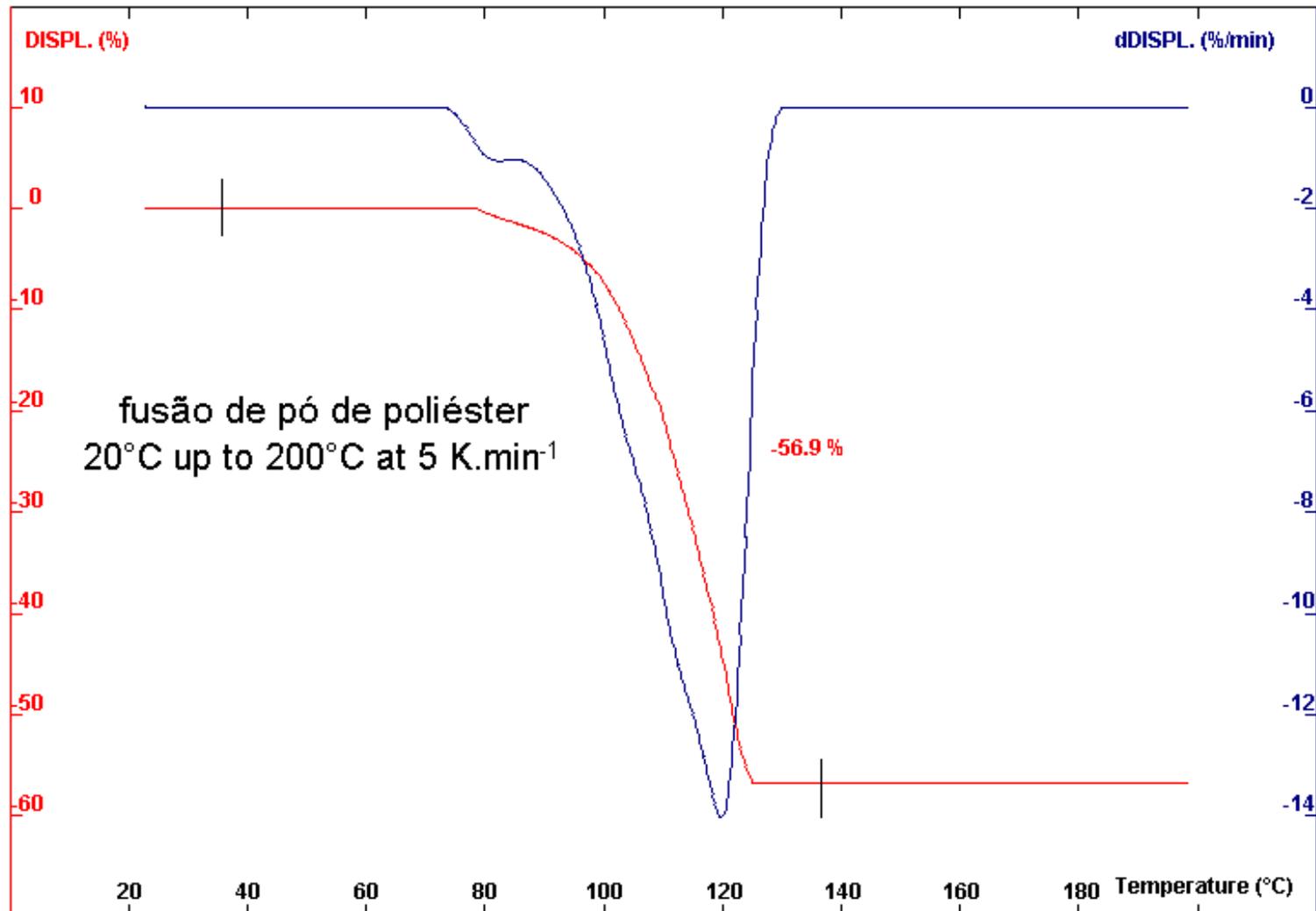
Expansão / Transformação de Fase Fe



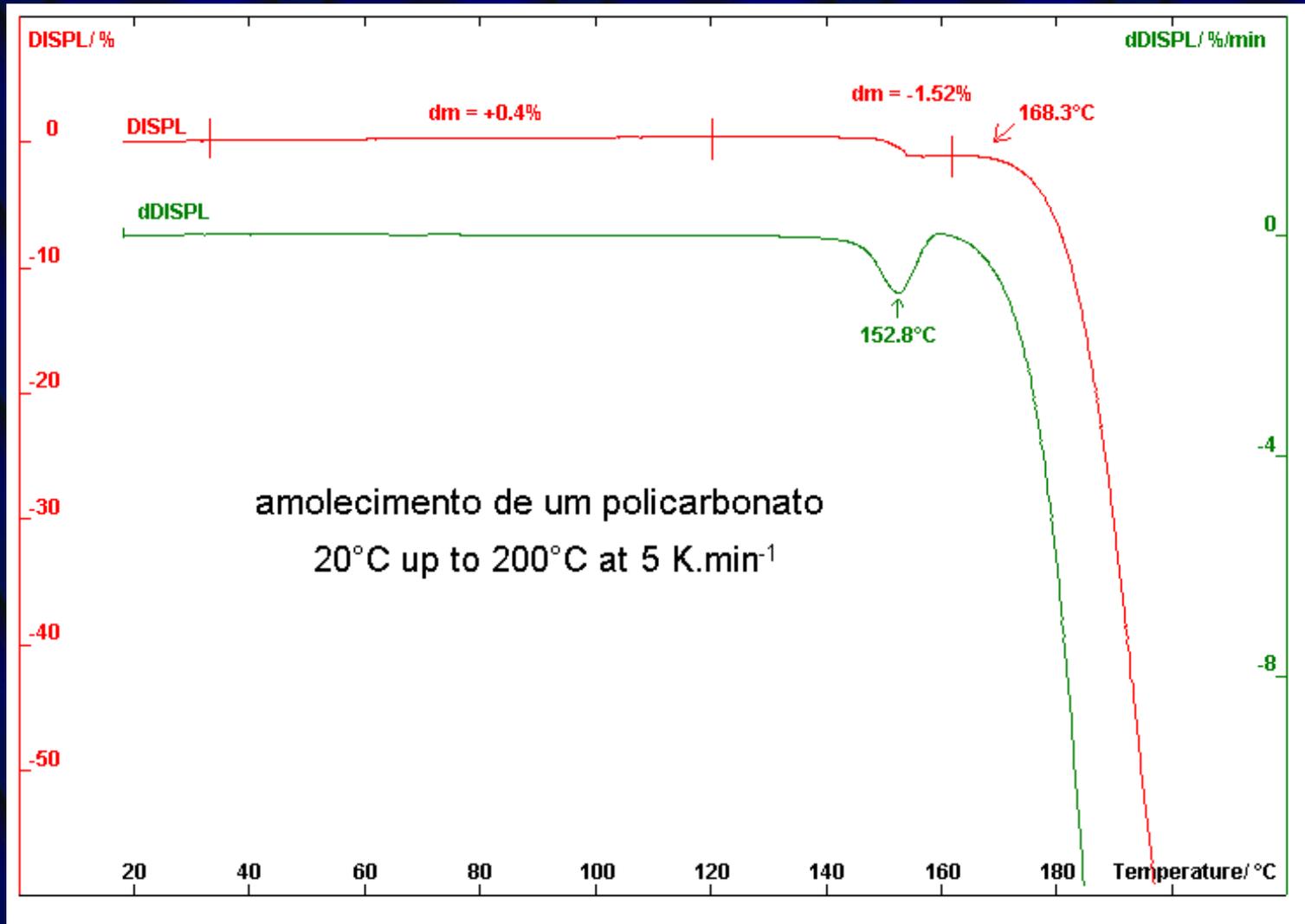
Transição Vítrea



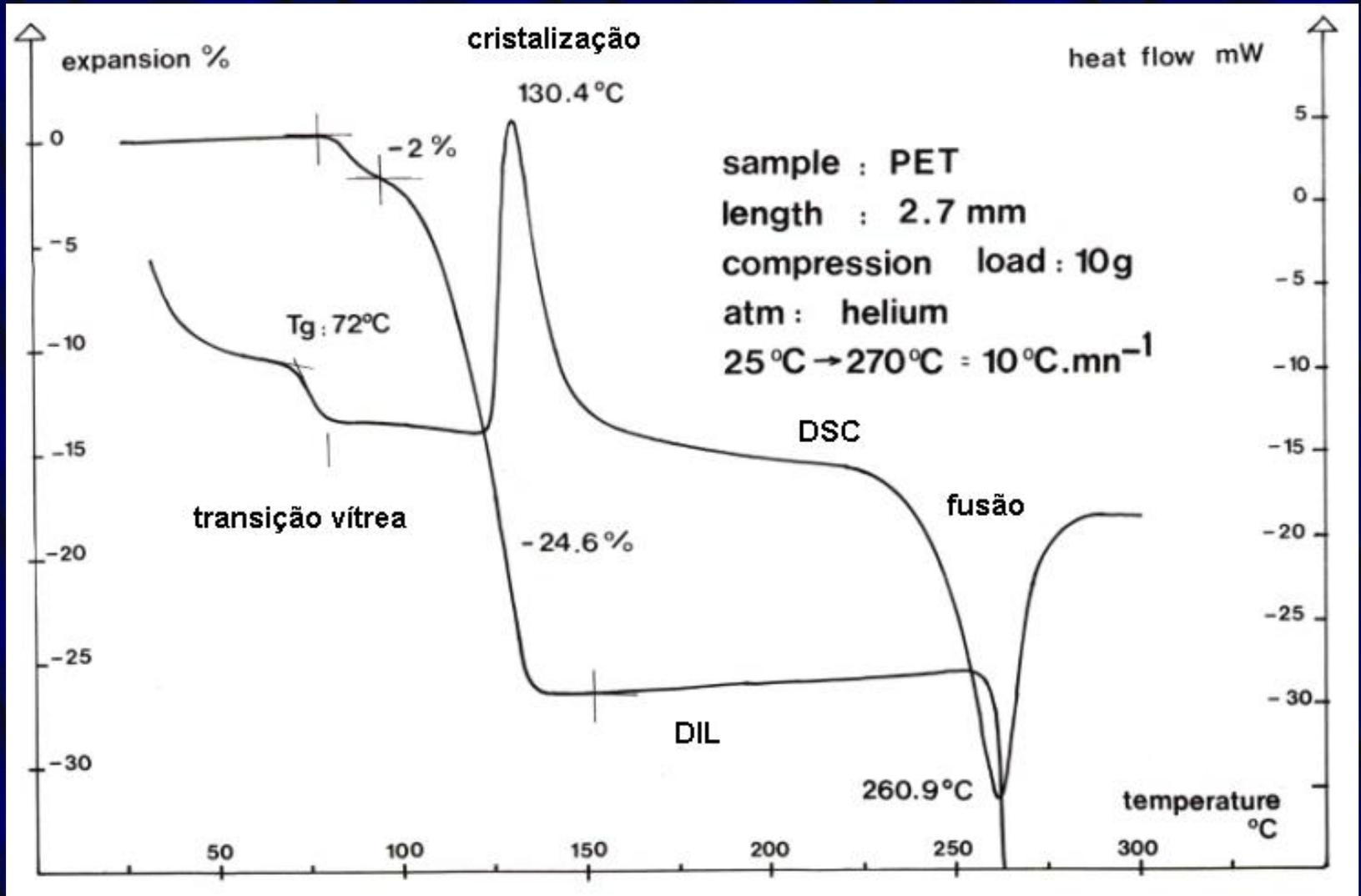
Fusão



Propriedades Mecânicas



Caracterização Térmica



■ Links de Análise Térmica

<http://www.courses.ahc.umn.edu/medical-school/BMEn/5001/notes/tmtests.html>

<http://www.ngb.netzsch.com/english/html/products.htm>

<http://www.linseis.com/bal-apps.htm>

<http://www.linseis.com/dil-apps.htm>

<http://www.linseis.com/l77-app.htm>

<http://www.linseis.com/l63-app.htm>

<http://www.datapointlabs.com/ExpCapShowDetails.asp?InstId=10>

<http://www.anter.com/>