INSTITUTO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

AULA 7

MAE

FÍSICA APLICADA AO ESTUDO DE OBJETOS DO PATRIMÔNIO CULTURAL: MÉTODOS E TÉCNICAS

Profa. Dra. Márcia A. Rizzutto

rizzutto@if.usp.br

https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=42442

30 de maio de 2017

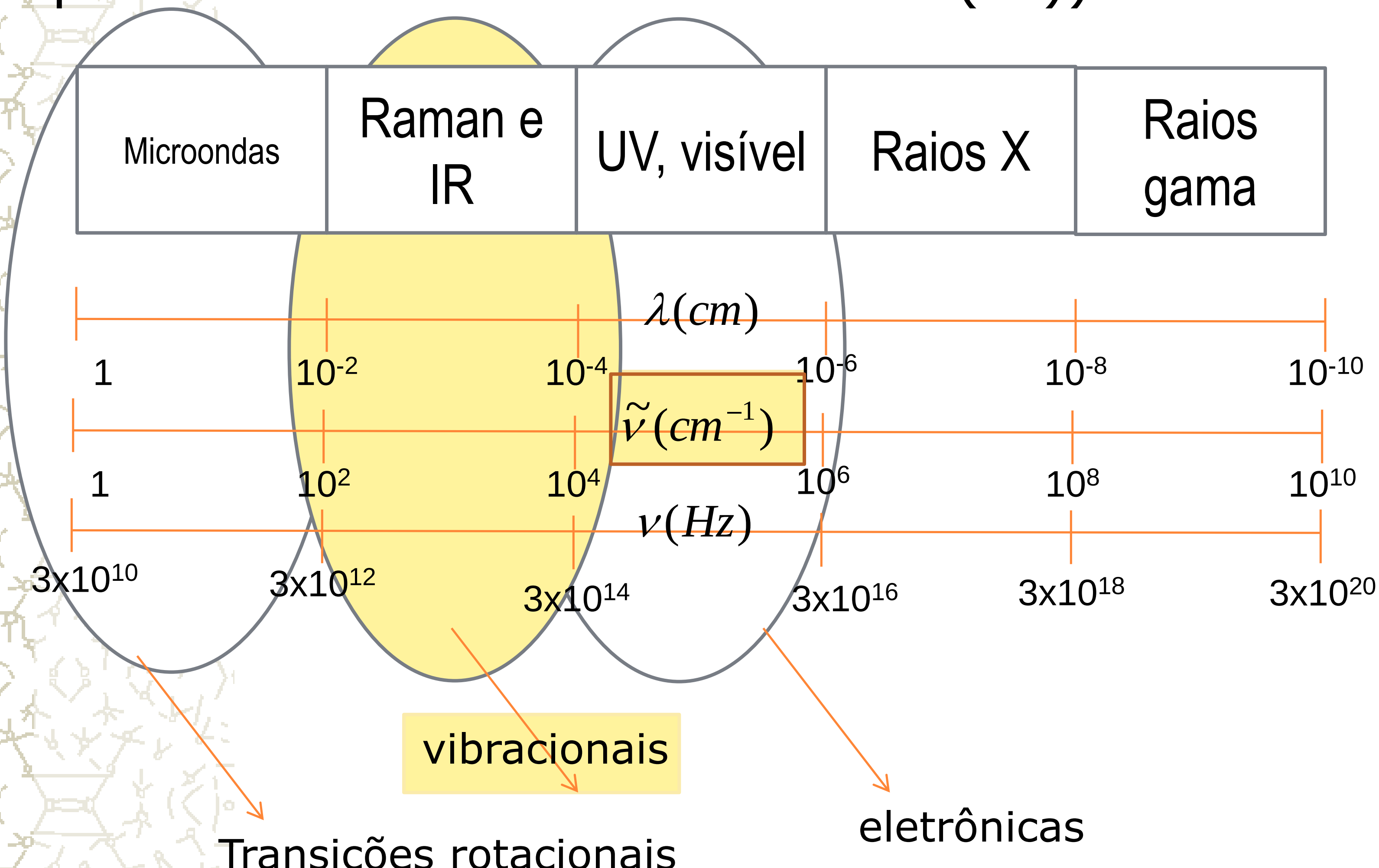
DISCIPLINA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM MUSEOLOGIA

Programa

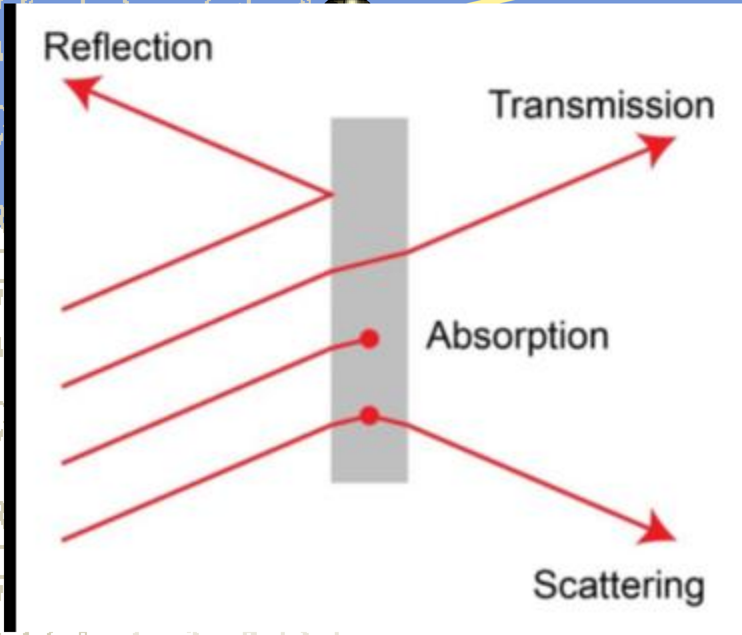
- **Capítulo 5 – Análises composicionais e estruturais**
  - Princípios Básicos das técnicas de infravermelho, Raman e Difração
  - Espectrometria Raman
  - Espectrometrias de Infravermelho com Transformada de Fourier
  - Estrutura cristalina e Difração
  - Aplicações
- **Capítulo 6 - Ativação Neutrônica e Análises Isotópicas**
  - Princípios Básicos da técnica de ativação neutrônica
  - Separação isotópica e análises
  - Aplicações nas análises de objetos
- **Capítulo 7: Métodos de Datação**
  - Dendocronologia
  - Datação com radiocarbono
  - Termoluminescência
  - Espectroscopia de Massa com aceleradores
  - Aplicações nas análises de objetos

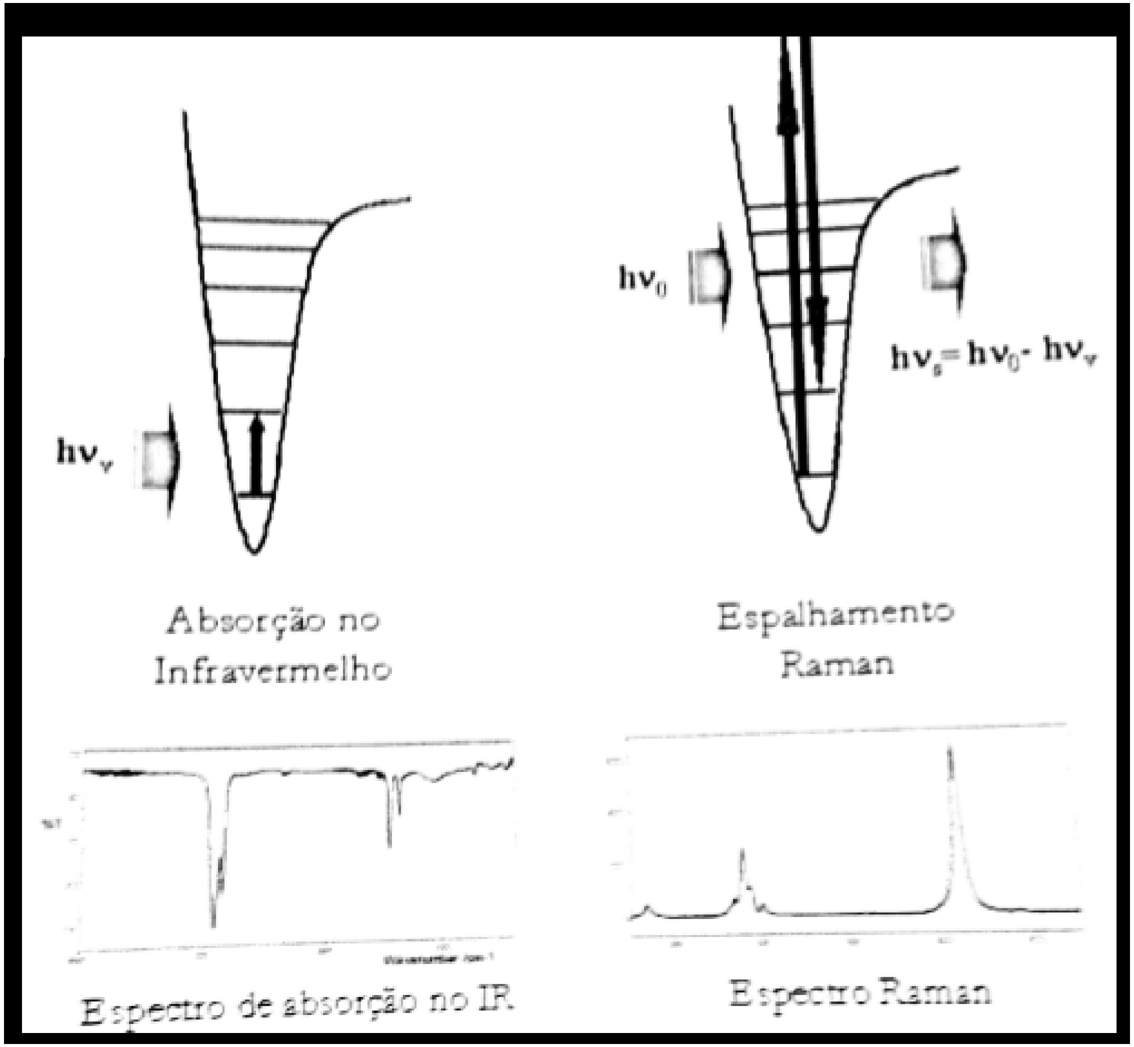
Espectroscopia Raman e IR

Particularmente estamos interessados nas transições vibracionais (observadas através do espectro Raman ou infravermelho (IR))

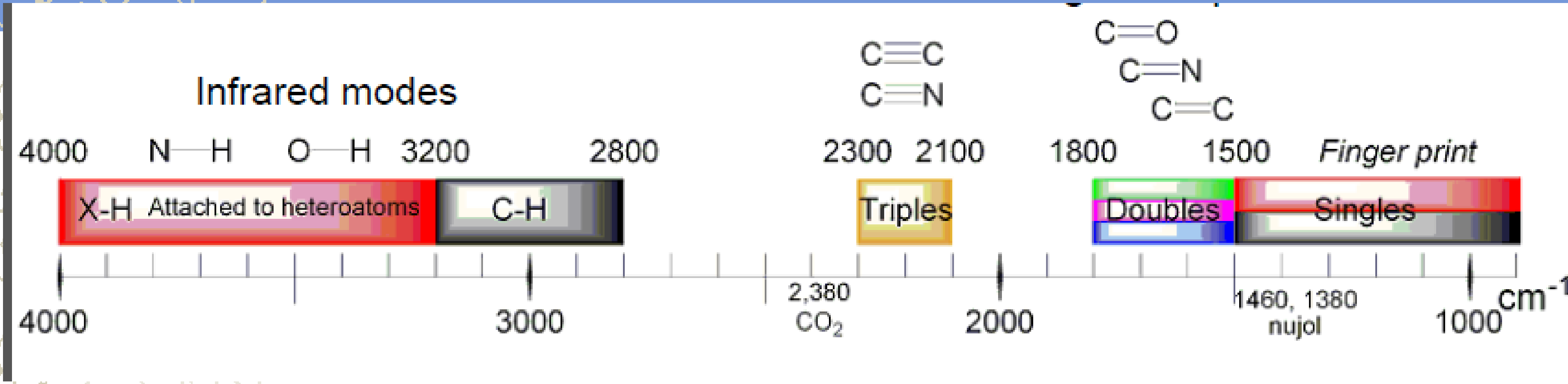


Espectros Infravermelho e de Raman

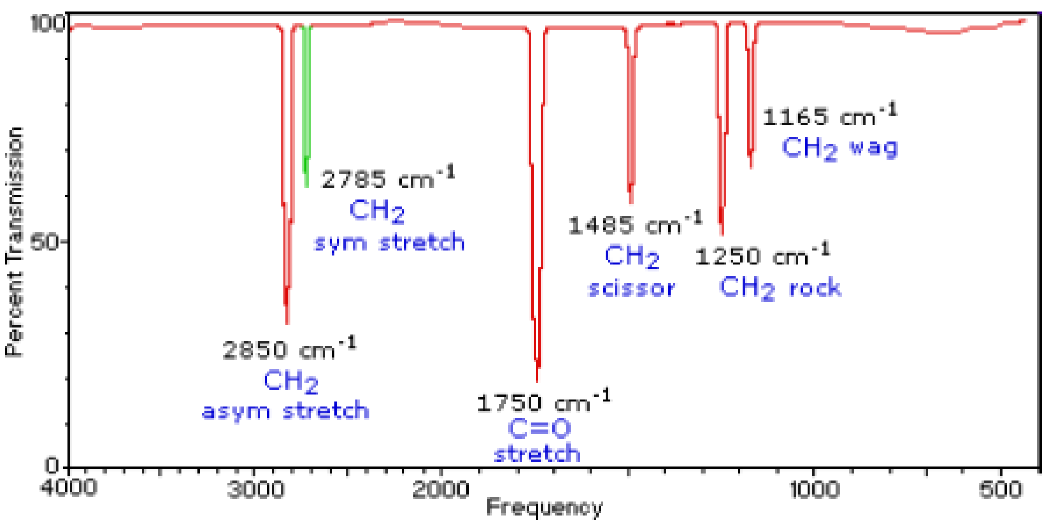




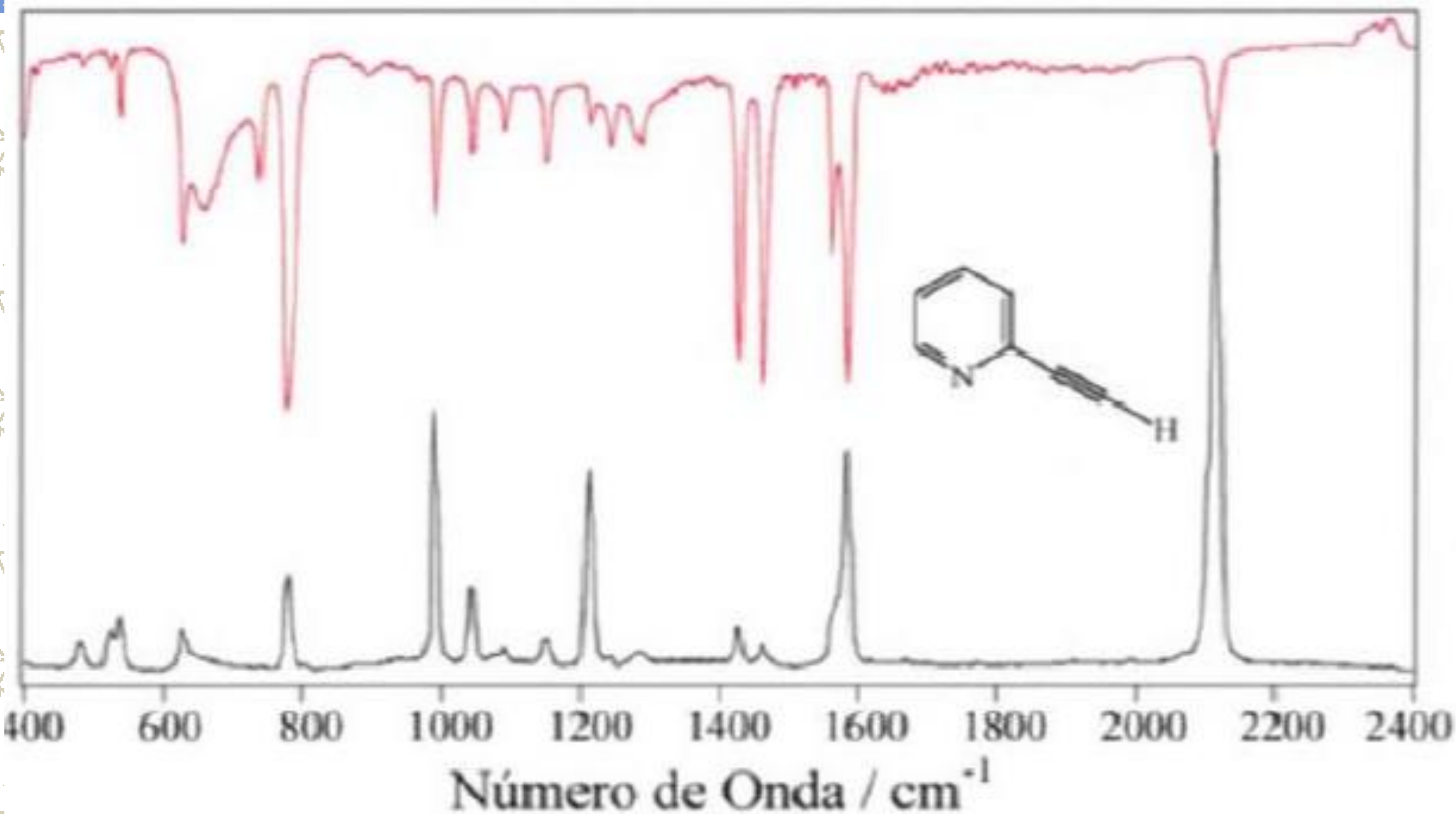
Espectroscopia infravermelho



Infrared light reflects different modes of vibration & rotation of molecules



Espectros Infravermelho versus Raman



Molecule	Band position cm^{-1}	Intensity Raman	Intensity IR
Naphtalene	1630 - 1595	w	m
	1580 - 1570	vs	vw
	1510 - 1500	vw	m
	1390 - 1350	vs	ms
Anthracene	1630 - 1620	ms	ms
	1560 - 1550	vs	s
	1400 - 1390	vs	vw
Fenantrene	1620 - 1600	m	m
	1520 - 1500	m	s
	1460 - 1440	s	m
	1350 - 1300	vs	w

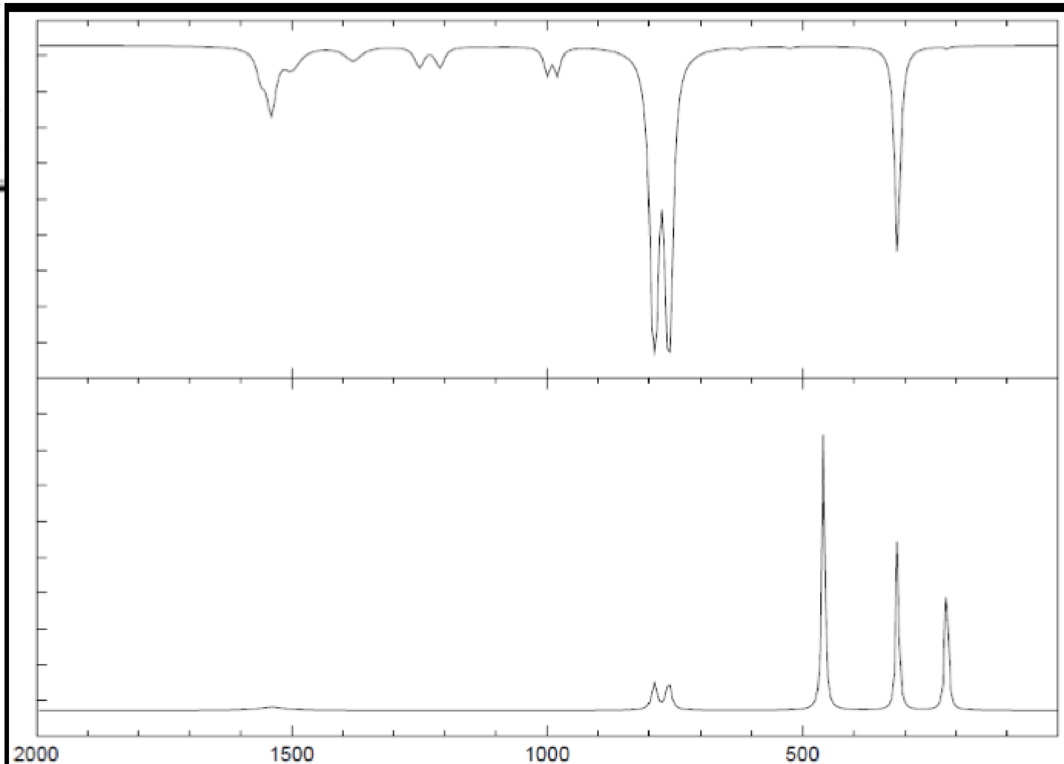


Fig. XI.3. Infrared and Raman spectra of carbon tetrachloride.

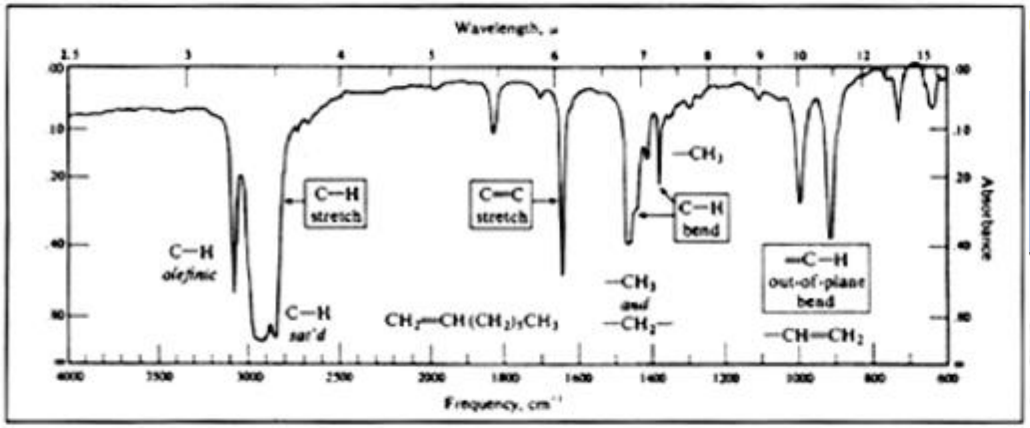


TABLE 3. INFRARED ABSORPTIONS FROM PURE COMPOUNDS

Wave number cm^{-1}*	Bonds (s) Responsible	Name or group or bond	Description and comments**
4000-3120	O-H	alcohol	strong and broad
3600-3100	-N(H)(H)	amine	medium doublet (1°) singlet (2°)
3340-3220	≡C-H	"sp" C-H bond	strong and sharp
3200-3000	=C-H	"sp^2" C-H bond	variable and sharp, may be doublet
3000-2830	-C-H	"sp^3" C-H bond	strong doublet
2300-2100	C≡C C≡N	acetylene nitrile	variable, sharp
1750-1710	-C(=O)-O-R	ester (the C is single-bonded to -OR)	very strong, sharp (due to C=O stretch)
1725-1680	C=O	ketone	strong!, sharp/broad
1700-1630	N-C=O	amide	strong!, sharp (due to C=O)
1620-1500	C=C or	olefin or	variable, several bands must be confirmed by presence of double-bond C-H at 3040-3000 cm^{-1}
	(benzene ring)	aromatic	
1900-1600			several weak overtones
1485-1410	-CH_2- or -CH_3	aliphatic (alkane)	medium sharp

* The exact location depends on the attached group(s).

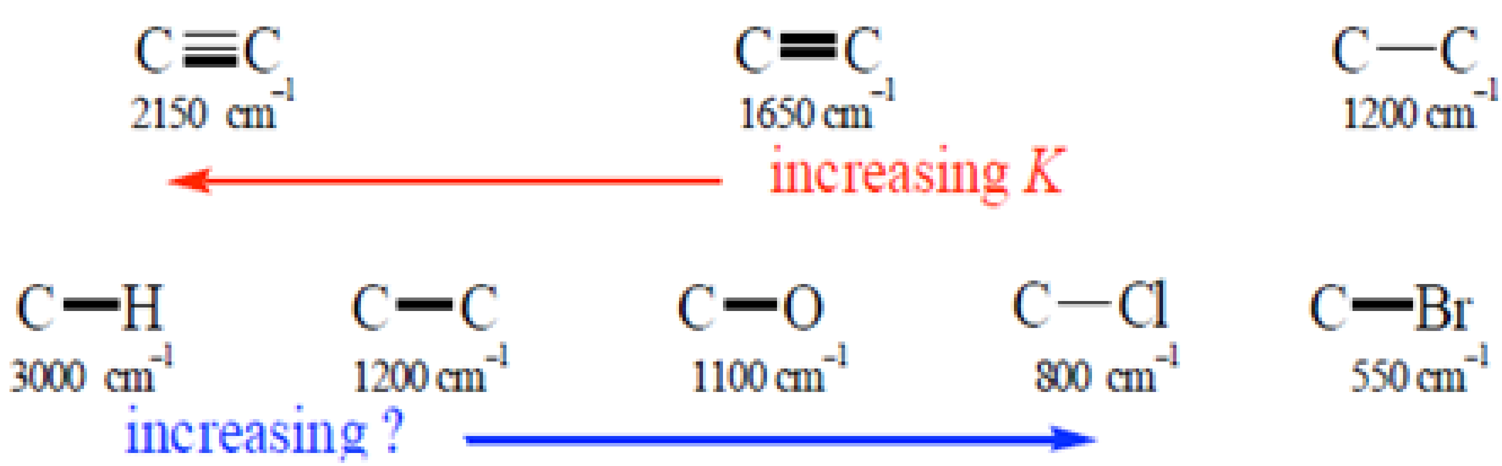
** Meaning of Terms

- **sharp:** an absorption band 10-50 cm^{-1} wide
- **broad:** an absorption band 100-300 cm^{-1} wide
- **very broad:** an absorption band 400-1000 cm^{-1} wide
- **strong:** one of the most prominent bands in the spectrum
- **medium:** an average band
- **weak:** a small absorption band; may be obscured easily
- **variable:** strength and location of these bands depends upon the molecule in question, e.g., the -C≡N band can be strong or very weak.

Os picos são usados para identificar os grupos químicos, isto é: os tipos de ligação

EXEMPLOS de frequências características de ligações "stretching" (alongamento)

O-H	3600 cm^{-1}	C-C	1200 cm^{-1}
N-H	3400 cm^{-1}	aromatic C-C	1450-1600 cm^{-1}
C-H	3000 cm^{-1}	C=C	1650 cm^{-1}
C-O/C-N/C-C	1100-1200 cm^{-1}	C≡C	2200 cm^{-1}

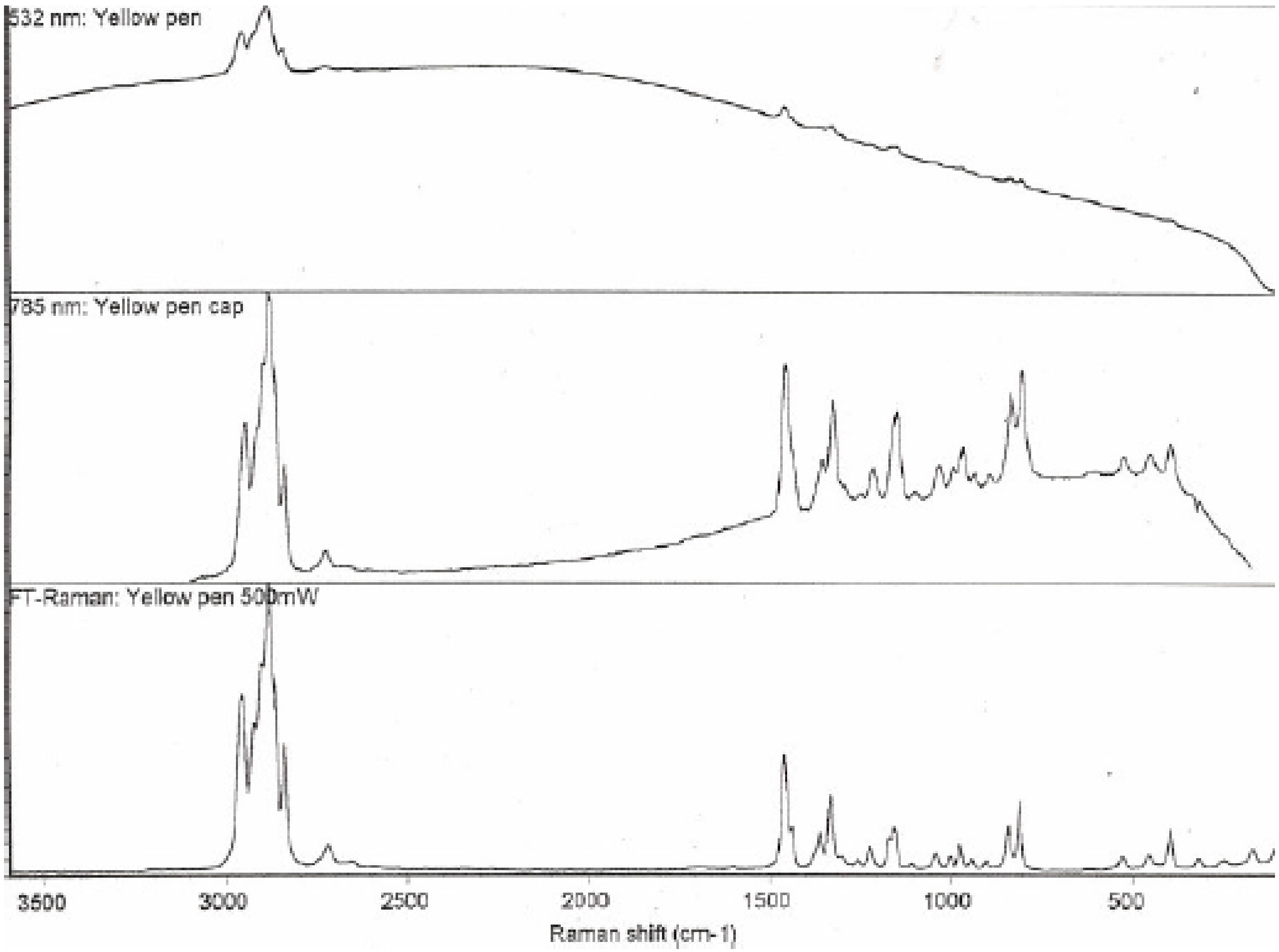


Espectro de uma tampa de caneta

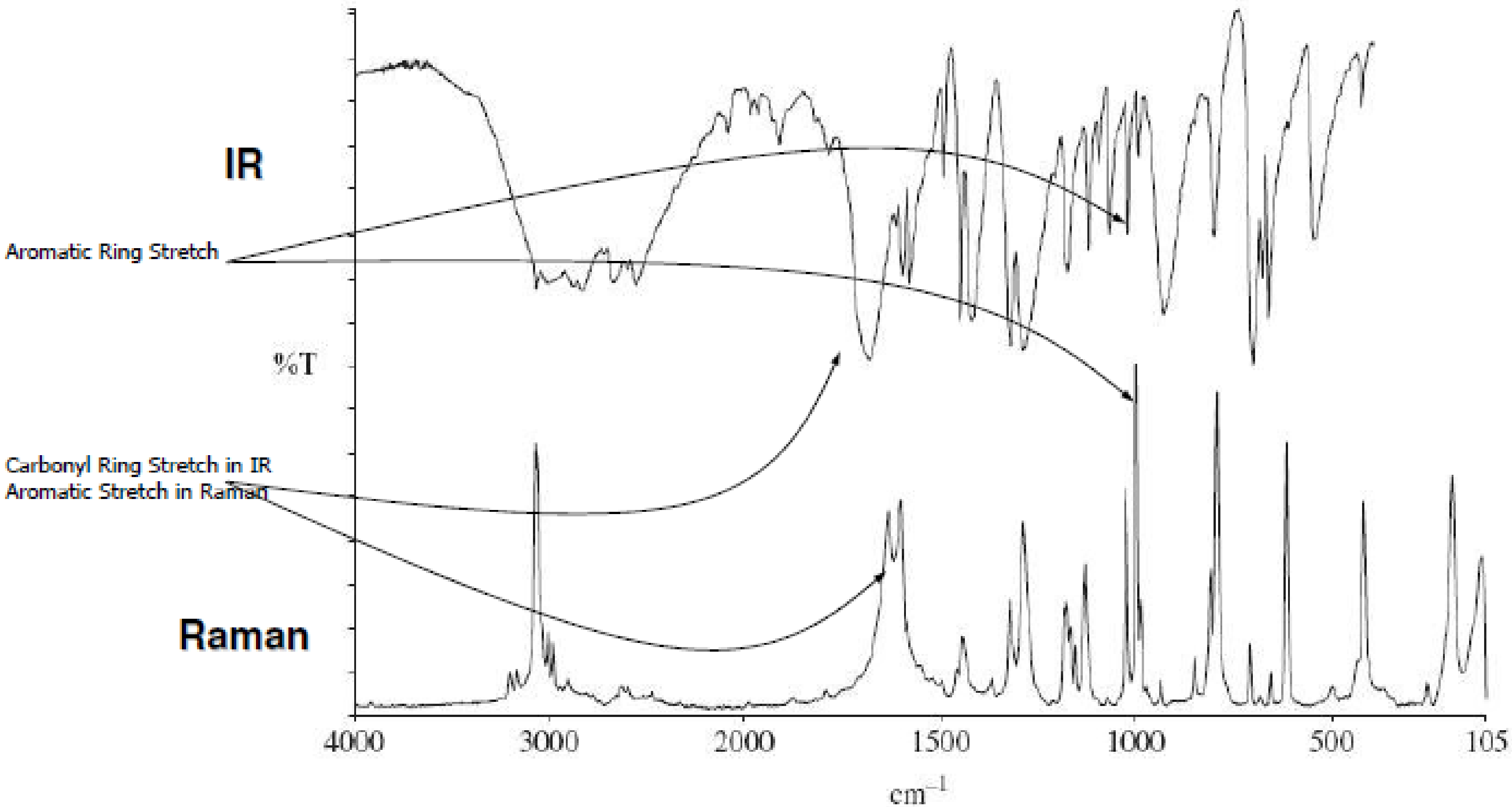
532 nm

785 nm

1064 nm



Espectro de IR e Raman do Ácido Benzóico



Exemplos espectros Raman com laser de 514.5nm

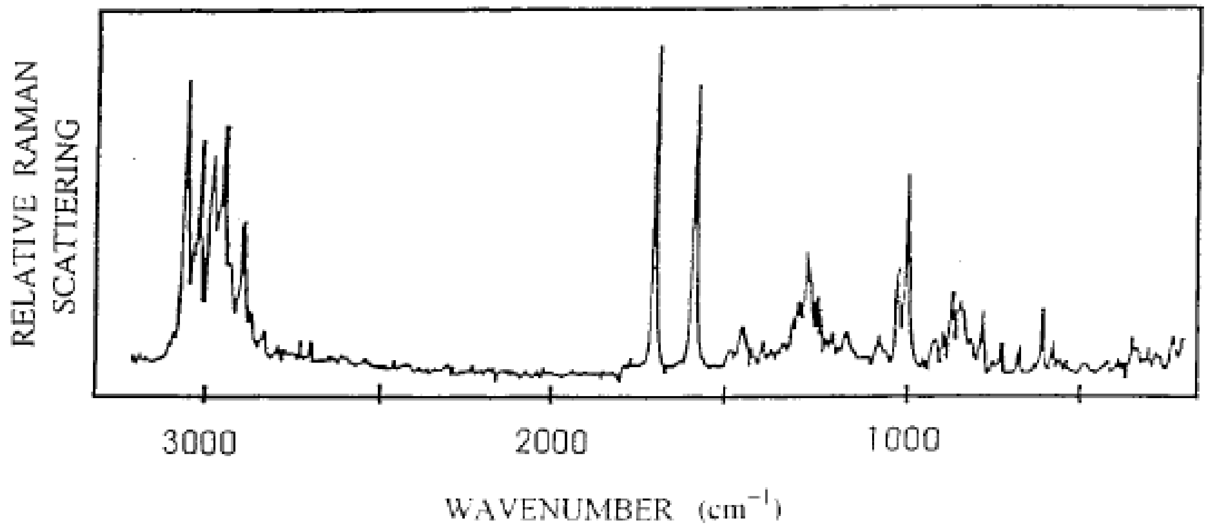


Figure 16 Raman spectrum of cocaine chlorohydrate ($\lambda_0 = 514.5$ nm; laser power = 0.1 mW).

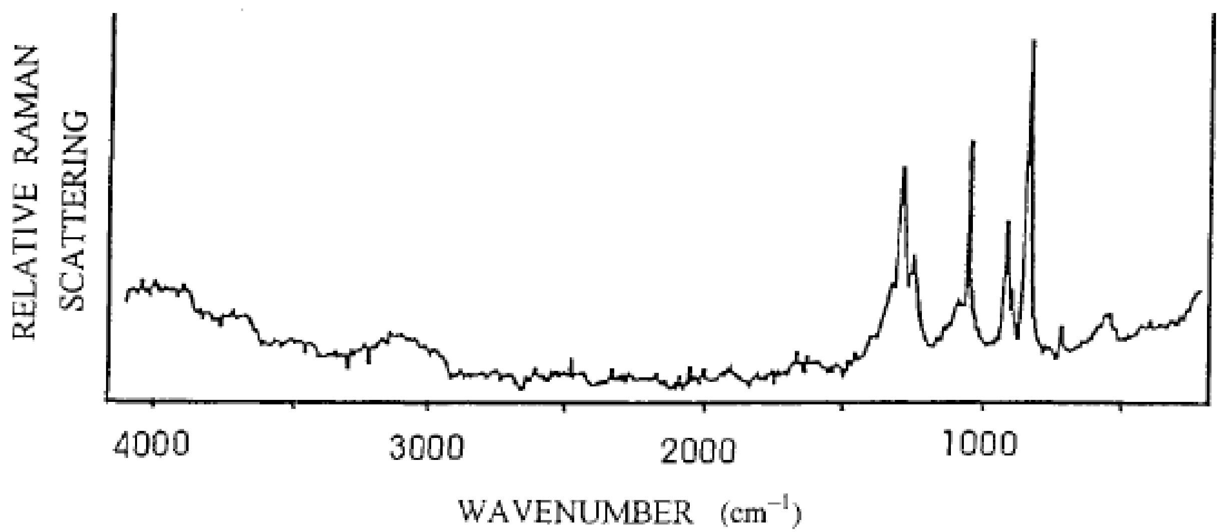
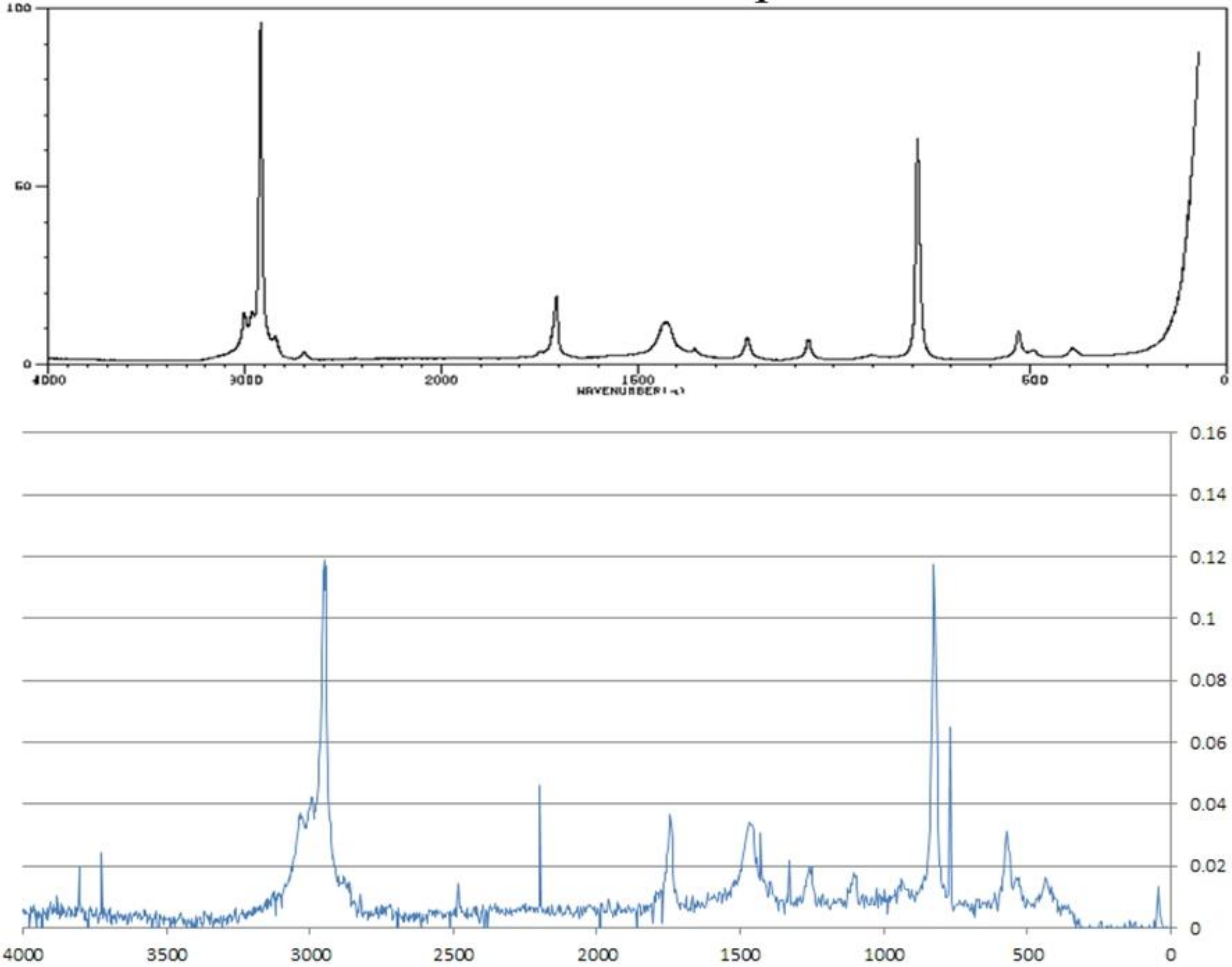


Figure 17 Raman spectrum of nitroglycerine (1% in KBr; $\lambda_0 = 514.5$ nm; laser power = 500 mW).

Acetone Raman Spectra



Outras técnicas: RR, SERS and SERRS

PerkinElmer
precisely

RR: Resonance Raman
Ocorre quando a energia de um fóton do laser coincide com o de uma transição eletrônica de um grupo cromóforo do sistema em estudo.

SERS: Surface Enhanced Raman Spectroscopy
O espectro Raman de uma molécula que é absorvida sobre uma superfície de ouro ou prata pode ter o sinal significamente aumentado.

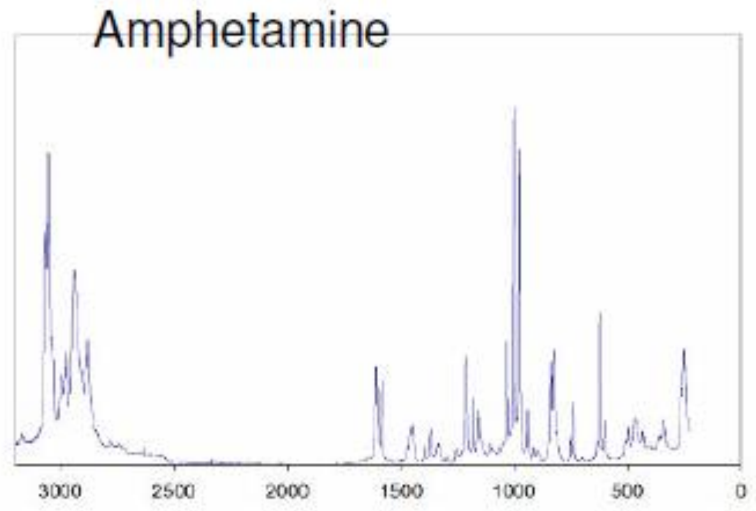
SERRS: Surface Enhanced Resonance Raman Spectroscopy
Similar ao SERS, mas usa um laser com energia que coincide com o grupo cromóforo da molécula em estudo.

SERS / SERRS podem aumentar o sinal em até bilhões de vezes.

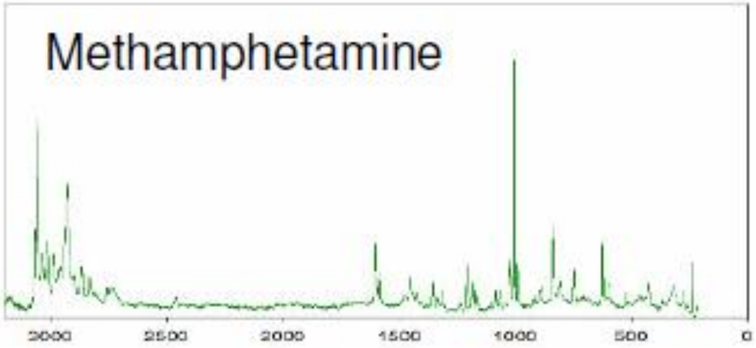
APLICAÇÕES DA ESPECTROSCOPIA RAMAN

- Indústria farmacêutica;
- Carbono e diamante;
- Material científico;
- Gemologia, geologia e mineralogia;
- A ciência forense;
- Nanotecnologia;
- Biológicas e biomédicas;
- Arte e patrimônio.

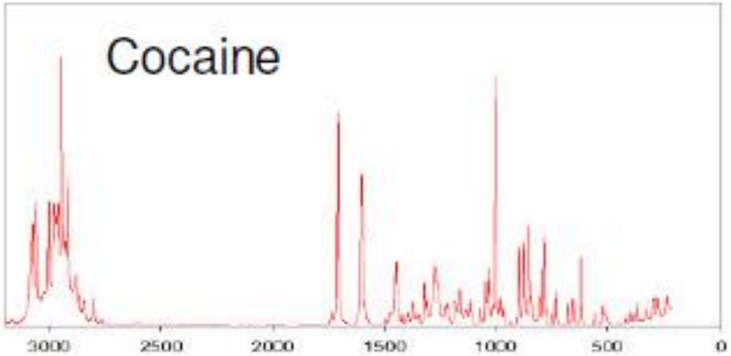
Aplicações



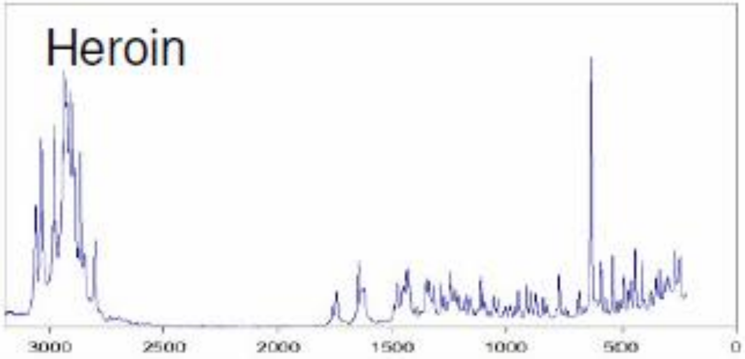
Amphetamine
3000
2500
2000
1500
1000
500
0



Methamphetamine
3000
2500
2000
1500
1000
500
0

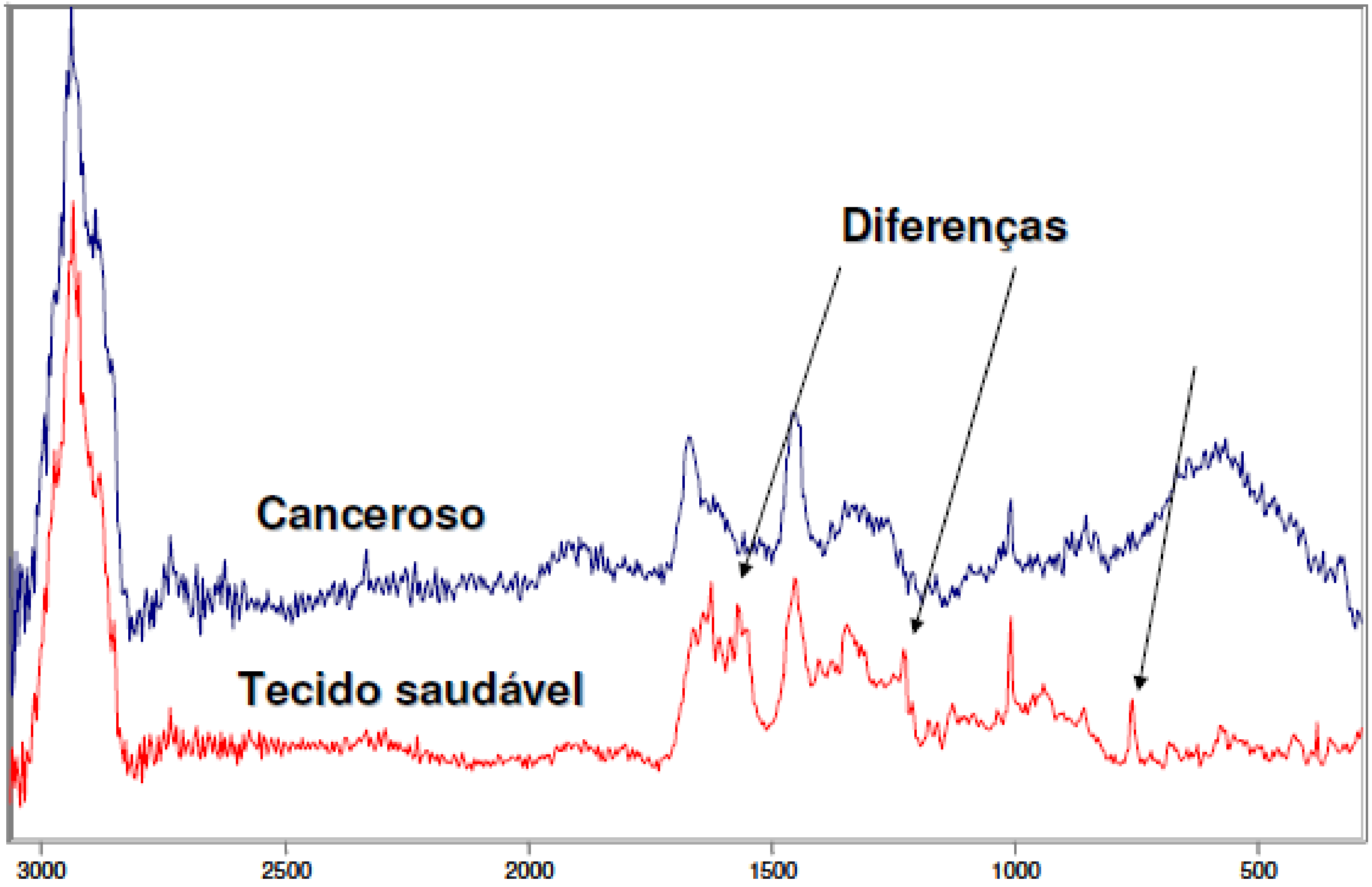


Cocaine
3000
2500
2000
1500
1000
500
0

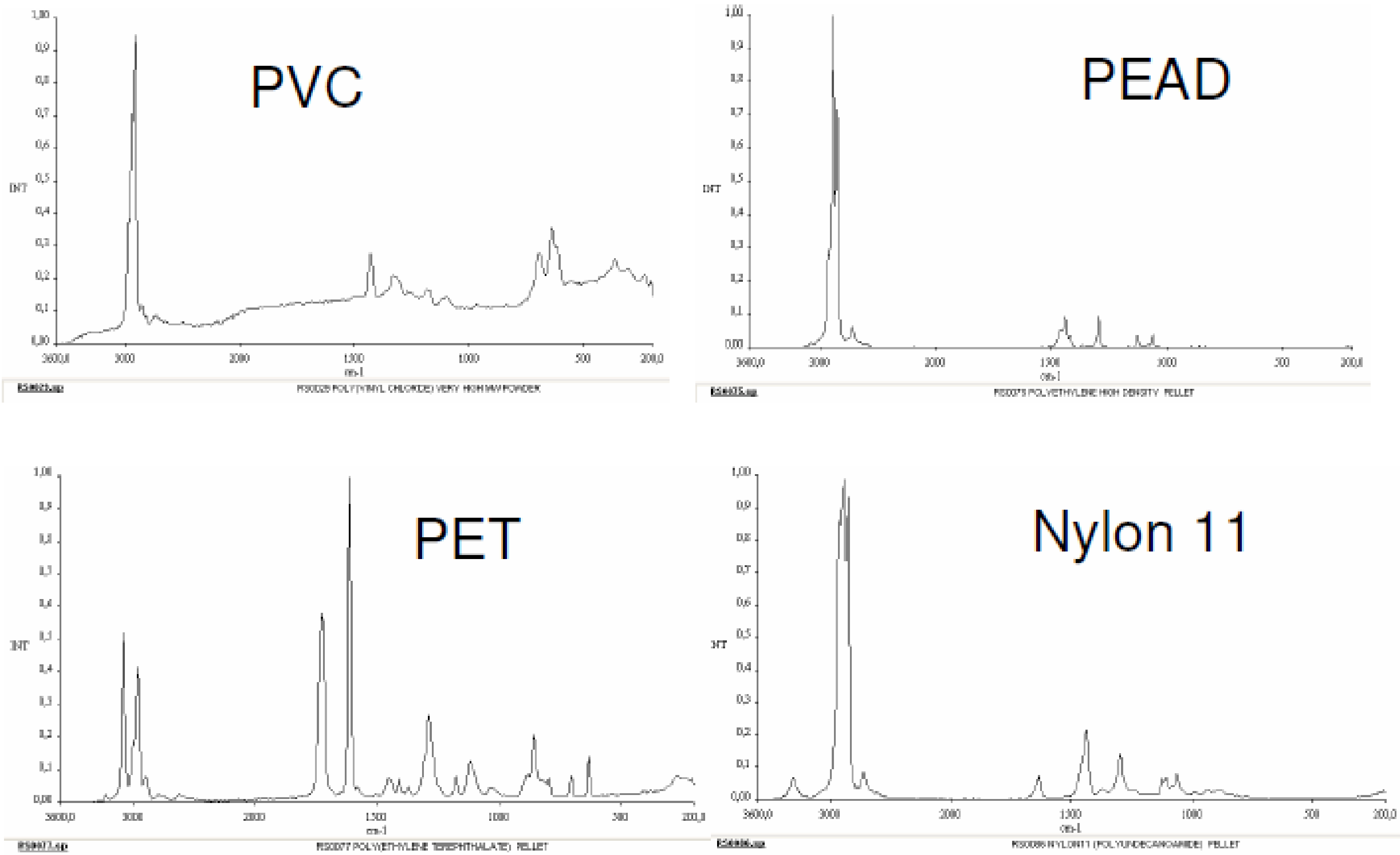


Heroin
3000
2500
2000
1500
1000
500
0

Aplicações: tecido Canceroso



Aplicações: Polímeros

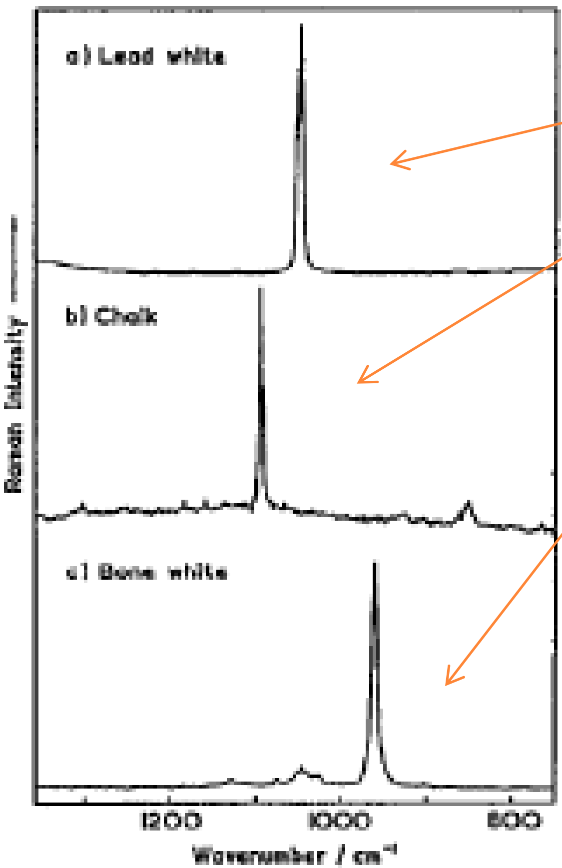


- Cada espécie química, seja uma substancia aglutinante, veículo ou verniz, pigmento, corante fornece um espectro que é como sua impressão digital

Espectros Raman – Aplicações Pigmentos

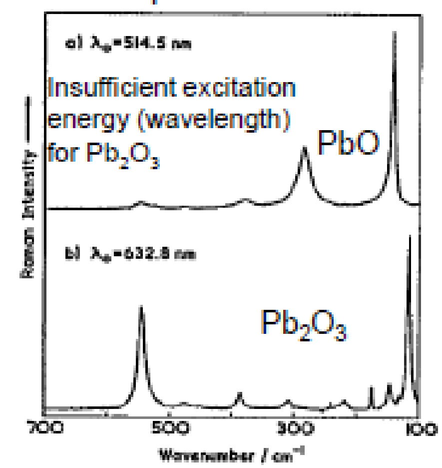
Wave number k=1/λ

Lead white: k=1050 cm^{-1} ($PbCO_3$)
Chalk: k=1085 cm^{-1} ($CaCO_3$)
Bone white: k= 960 cm^{-1} ($Ca_3(PO_4)_2$)



Red lead: k=226 cm^{-1}, 313 cm^{-1}, 390 cm^{-1}, 549 cm^{-1} (Pb_2O_3)

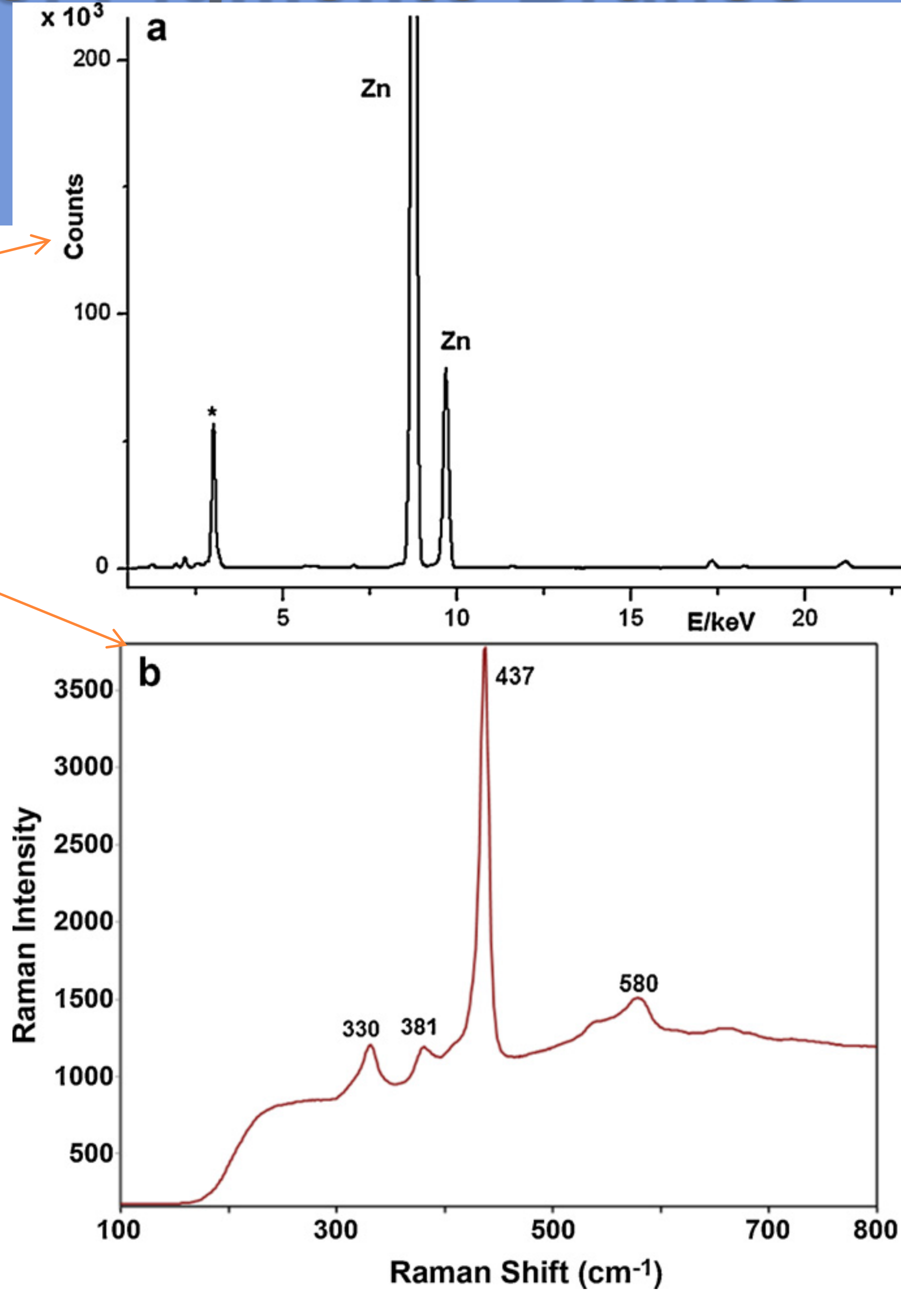
Raman spectrum of red lead



Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation Lucia Burgio, Robin J.H. Clark, Spectrochimica Acta Part A 57 (2001) 1491

Aplicações: Pigmento Branco

- Acoplar as analises de ED-XRF com Raman

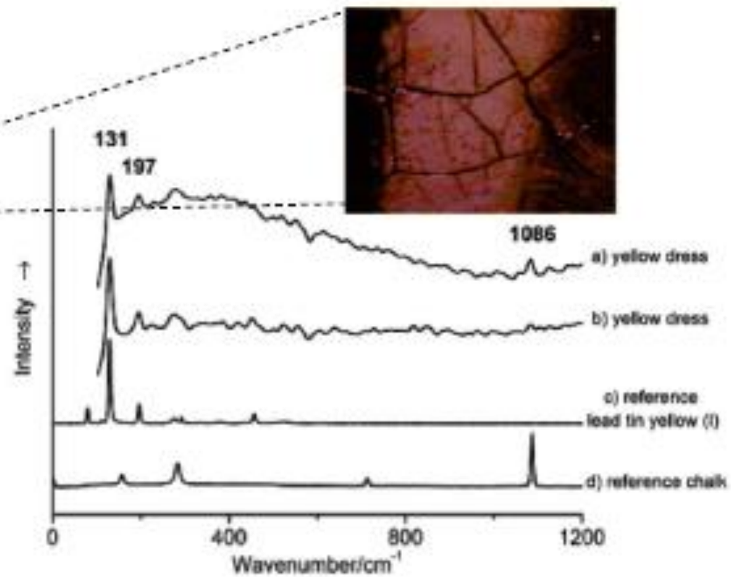


Espectros EDXRF e micro Raman do pigmento branco. O pico marcado com * no espectro de EDXRF é devido ao equipamento e não pertence a amostra analisada

Probing for yellow pigments

Historical yellow pigments:

Yellow iron oxide	FeO
Orpiment	As_2S_3
Lead tin antimony yellow	$Pb_2SnSbO_{6.5}$
Lead antimonate	$Pb_2Sb_2O_7$

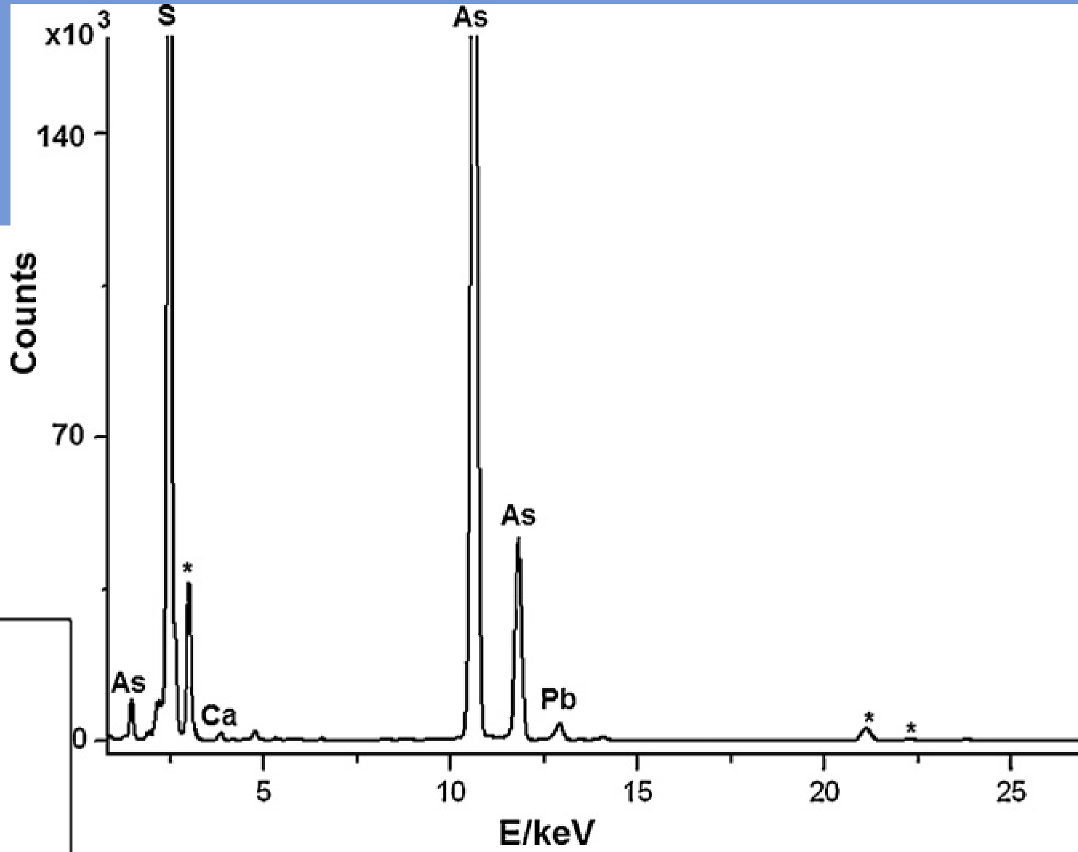


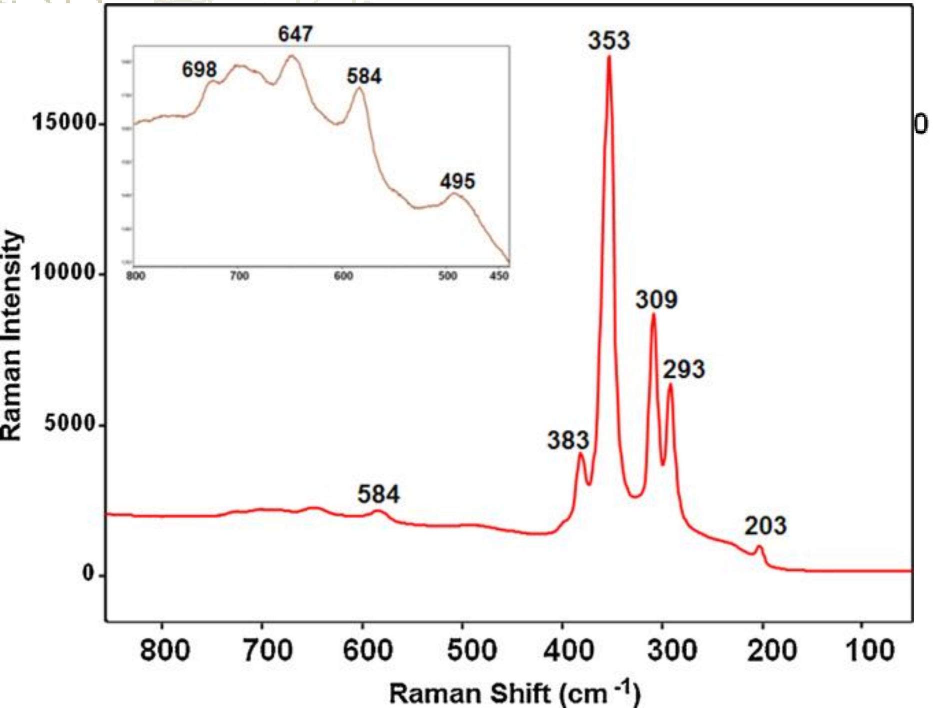
Clear identification of lead based yellow mixed with Calcite as used by Vermeer during his late period of painting ~1700 AD shortly before his untimely death in the age of 43 in 1705.

L. Burgio et al. Anal Chem. 77, 1261 (2005)

Aplicações: Pigmento amarelo

- Acoplar as análises de ED-XRF com Raman

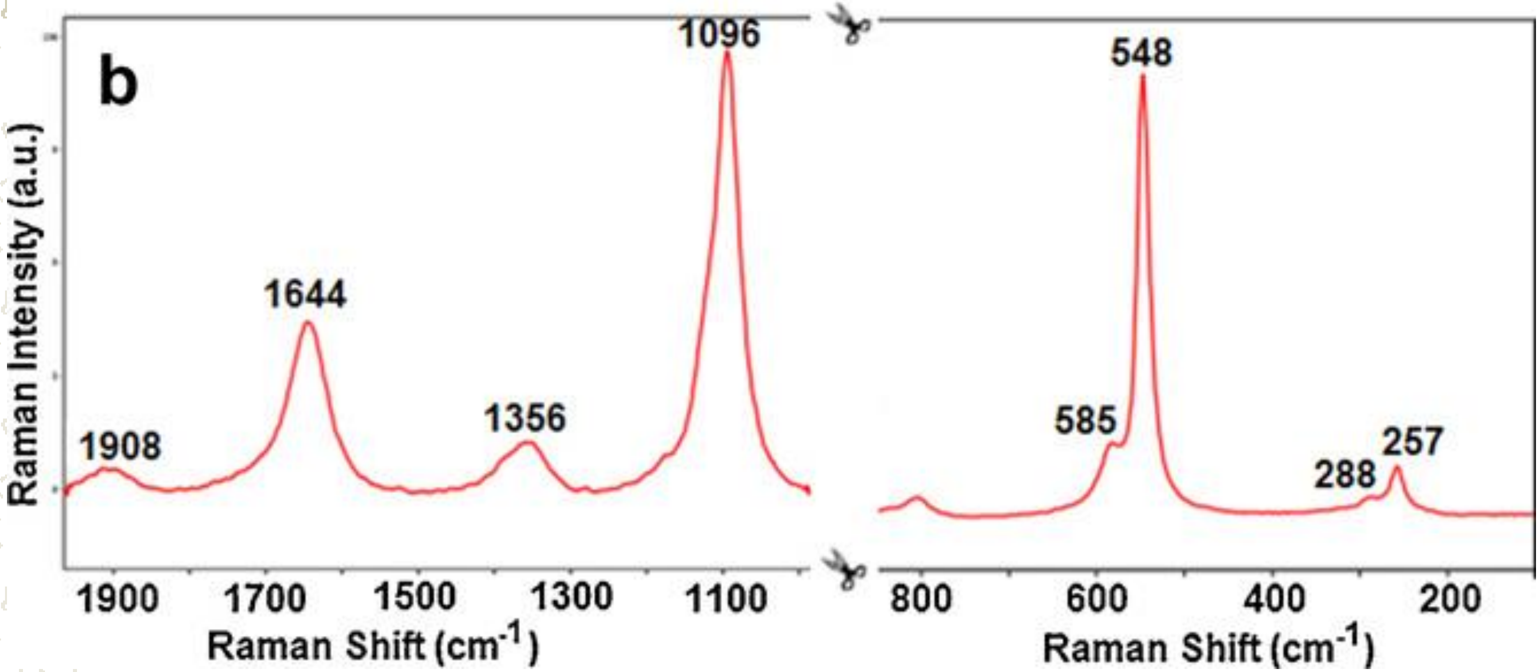




Orpiment: As_2S_3

Aplicações: Pigmento azul

XRF: Si, Al,S
Raman: ultramarino ou lápis lazuli

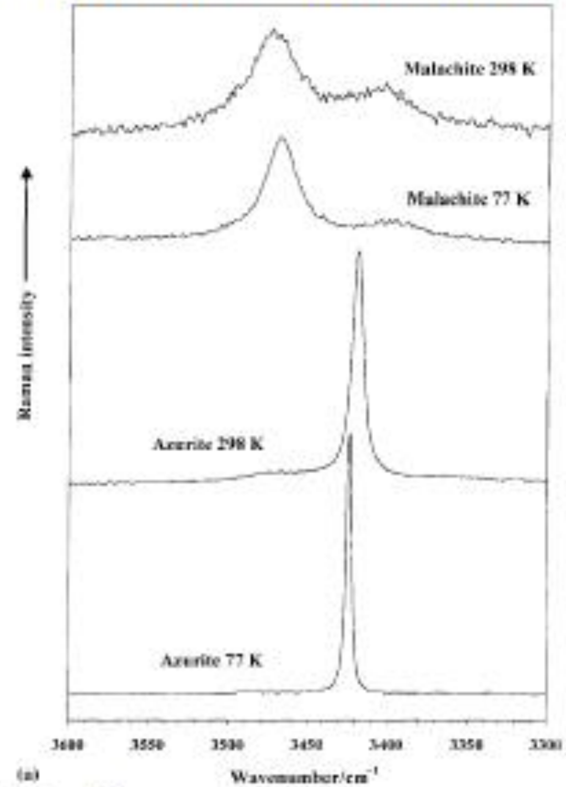


			/Mineral
Blue	Azurite	$2CuCO_3.Cu(OH)_2$	Mineral
	Cerulean blue	$CoO.SnO_2$	Synthetic, 19th century
	Cobalt blue	$CoO.Al_2O_3$	Synthetic, 18th century
	Cobalt violet	$Co_3(PO_4)_2$	Synthetic, 19th century
	Egyptian blue	$CaO.CuO.4SiO_2$	Synthetic ca 3000 BC
	Han blue	$BaCuSi_4O_{10}$	Mineral
	Han purple	$BaCuSi_2O_6$	Mineral
	Lazurite/Ultramarine /Lapis lazuli	$Na_{8-10}Al_6Si_6O_{24}S_{2-4}$	Synthetic, 19th century /Mineral
	Manganese blue	$BaSO_4.Ba_3(MnO_4)_2$	20th century
	Posnjakite	$CuSO_4.3Cu(OH)_2.H_2O$	Mineral
	Prussian blue	$Fe_4(Fe[CN]_6)_3$	Synthetic, 18th century
	Smalt	K_2O, SiO_2, CoO	16th century

Azurite and Malachite

Different molecular components in complex molecules create certain Raman bands

k=1000 cm^{-1} vibration between anion and kation in salt
Lead white: k=1050 cm^{-1} ($PbCO_3$)
Bone white: k= 960 cm^{-1} ($Ca_3(PO_4)_2$)



Malachite: $Cu^{2+}{}_2(CO_3)(OH)_2$
Azurite: $Cu^{2+}{}_3(CO_3)_2(OH)_2$

Generates vibration modes of three groups: O-H, C-O_3, Cu-O
OH: k=952, 1035 cm^{-1} (bending mode) 3453, 3427 cm^{-1} (stretching mode)
CO_3: k=817,837,1090 cm^{-1}, 1415, 1490 cm^{-1}, 747, 769 cm^{-1} (vibrational modes)
Cu-O: k=345, 455 cm^{-1} (bending mode), k=400, 495 cm^{-1} (stretching mode)

Michael Wiescher Department of Physics, University of Notre Dame, IN

Aplicações:

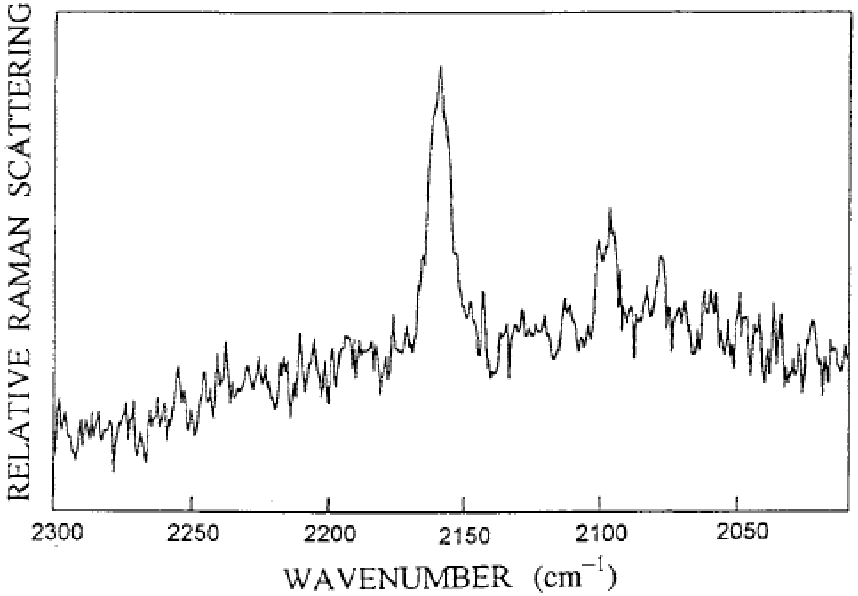


Figure 6 Raman spectrum of Prussian blue from a drawing by Constantin Guys (see text).

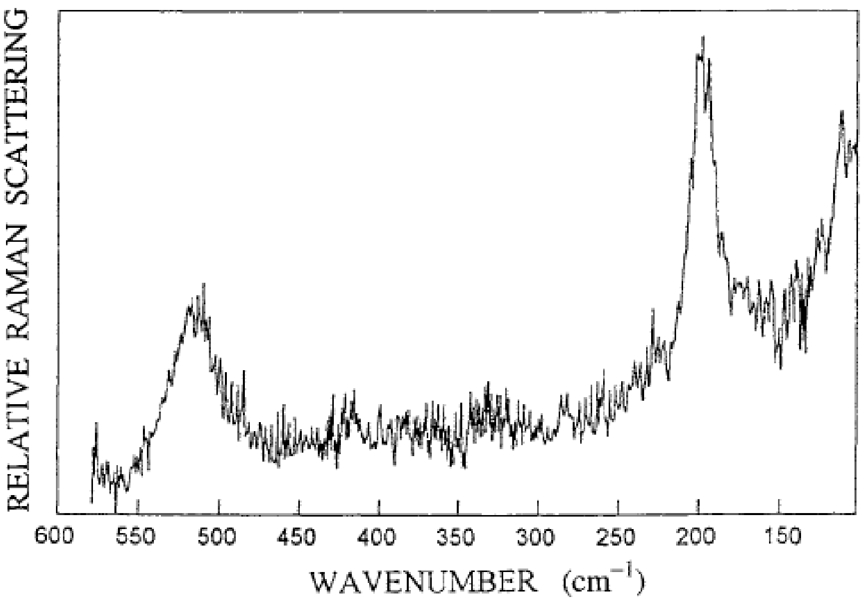


Figure 7 Raman spectrum of cobalt blue.

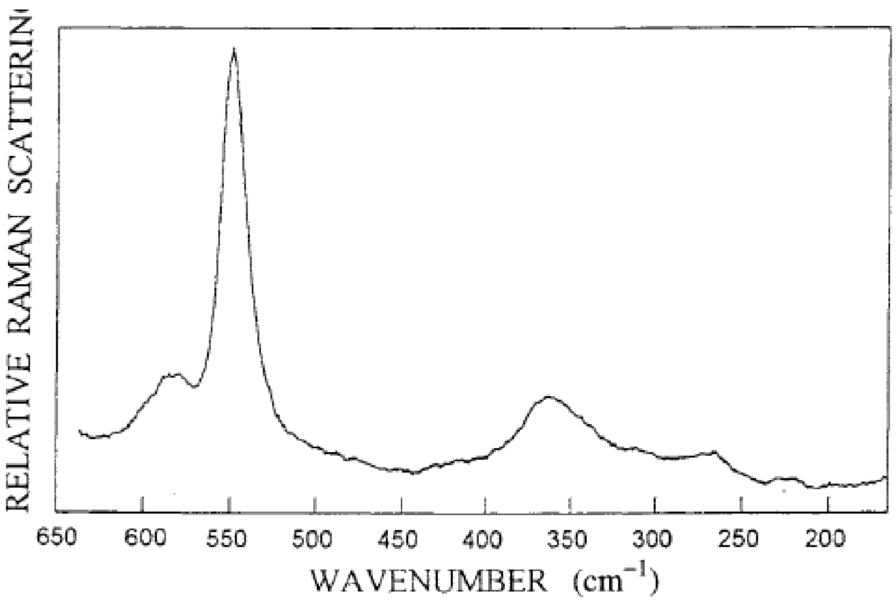


Figure 8 Raman spectrum of ultramarine blue.

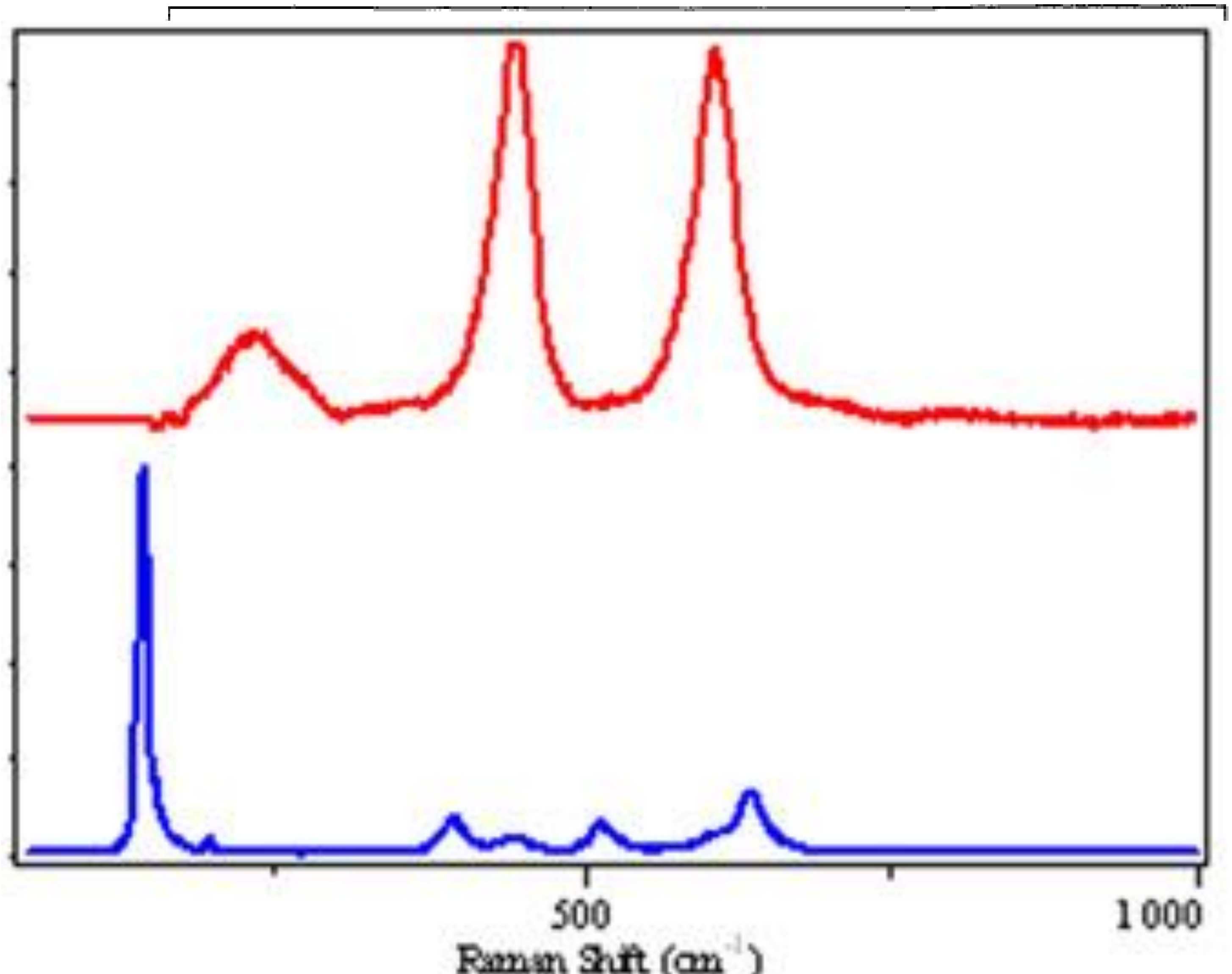
Aplicações: Pigmentos Picos Raman

Pigmento	Picos Raman (cm-1)	
Amarelo de Cadmio	302,610	CdS
Amarelo de Cromo	339,361,378,403,840,	$PbCrO_4$
Amarelo de Estrôncio	337,858,866,891	$SrCrO_4$
Anatase	145,396,514,637	TiO_2
Azul da Prússia	2150	Século XVIII
Bário	987	$BaSO_4$
Branco de Zinco	437	ZnO
Calcita	282,712,1086	
chalk	1086	
gypsum	176,1010	
Orpiment	495,584,647,698	As_2S_3
Vermelho ocre	194,413	

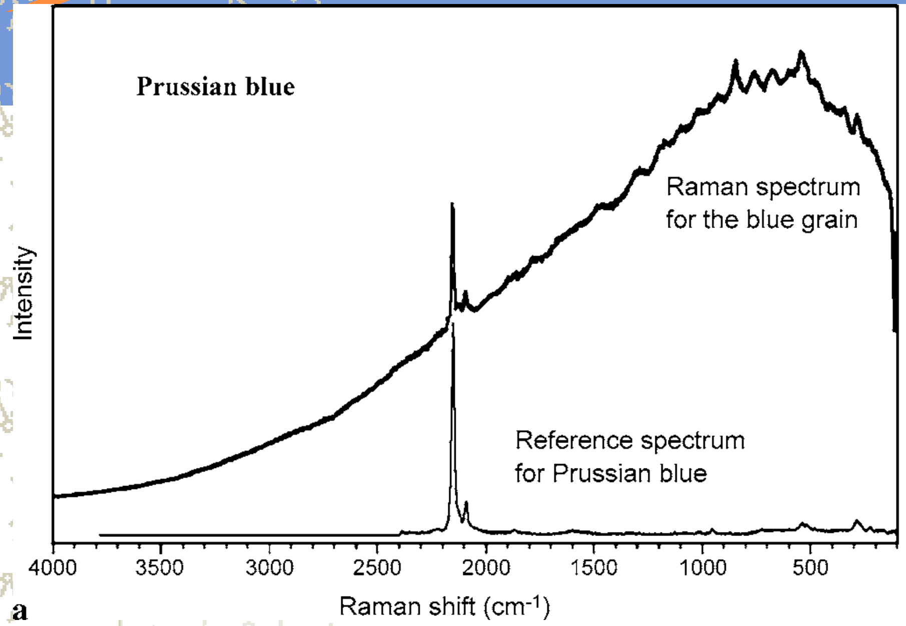
Ref.: Sevim Akyuza, Tanil Akyuza, Gulder Emreb, Ahmet Gulecb, Sait Basaran, “Pigment analyses of a portrait and paint box of Turkish artist Feyhaman Duran (1886–1970): The EDXRF, FT-IR and micro Raman spectroscopic studies”. Spectrochimica Acta Part A 89 (2012) 74– 81.

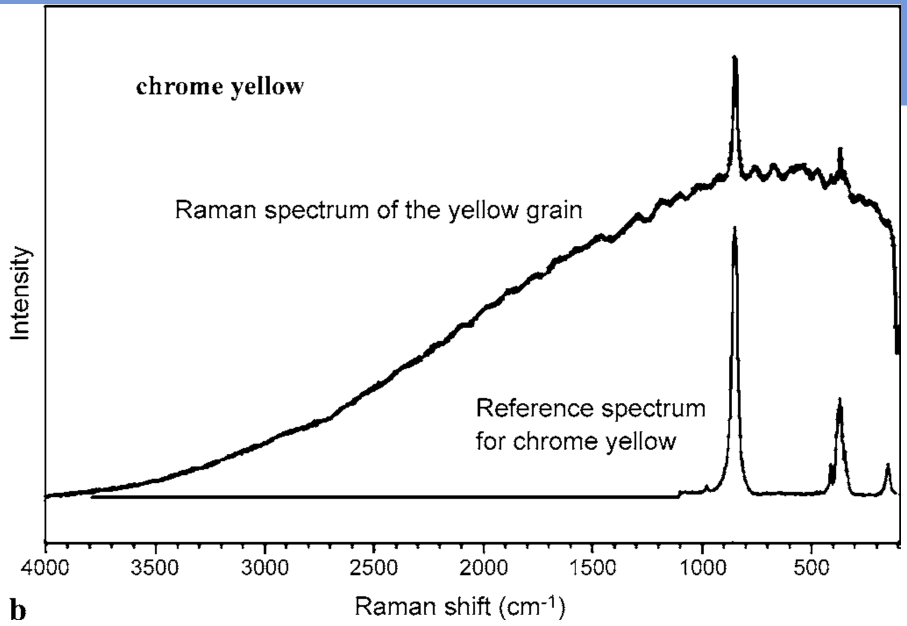
Aplicações: analise TiO2

Art, Jewelry and Forensic Science 433



Exemplos de espectros Raman comparados com o sinal de fluorescência





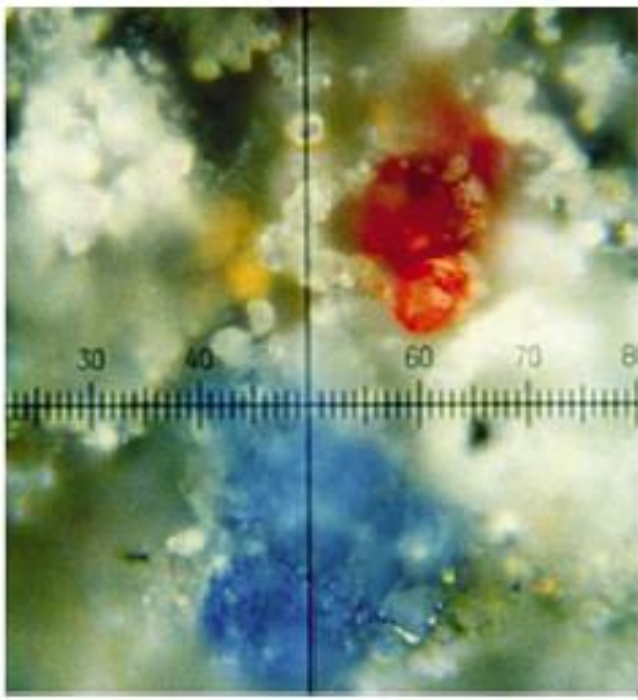
Raman spectra taken on the (**a**) blue and (**b**) yellow grains, corresponding to the Prussian blue and chrome yellow pigments, respectively. Even though the background due to the fluorescence of the binding medium was rather high in both spectra, the characteristic Raman signal was attributed without difficulty to the appropriate pigments

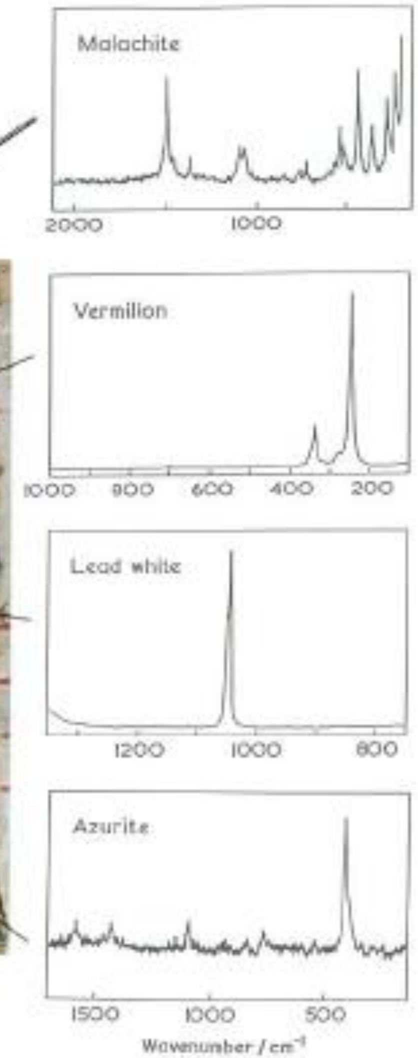
Experimental set-up during the analysis of the mediaeval manuscript Liber Floridus

A. Deneckere, M. De Reu, M. P. J. Martens, K. De Coene, B. Vekemans, L. Vincze, Ph. De Maeyer, P. Vandenabeele and L. Moens, Spectrochim. Acta, Part A, 2011, 80, 125

Testing ink pigments of medieval monastery handwriting of letter 𝕽

Lead white: k=1050 cm^{-1} ($PbCO_3$)
Malachite: ($Cu^{2+}{}_2(CO_3)(OH)_2$) (k= 1490 cm^{-1})
Azurite: ($Cu^{2+}{}_3(CO_3)_2(OH)_2$) (k= 495 cm^{-1})
Vermillion: k= 253 cm^{-1} 285 cm^{-1}, 343 cm^{-1} (HgS) (cinnabar)
Minium: k=226 cm^{-1}, 313 cm^{-1}, 390 cm^{-1}, 549 cm^{-1} (Pb_2O_3)





Best et al. Endeavour, New Series 16 (1992) 66-73

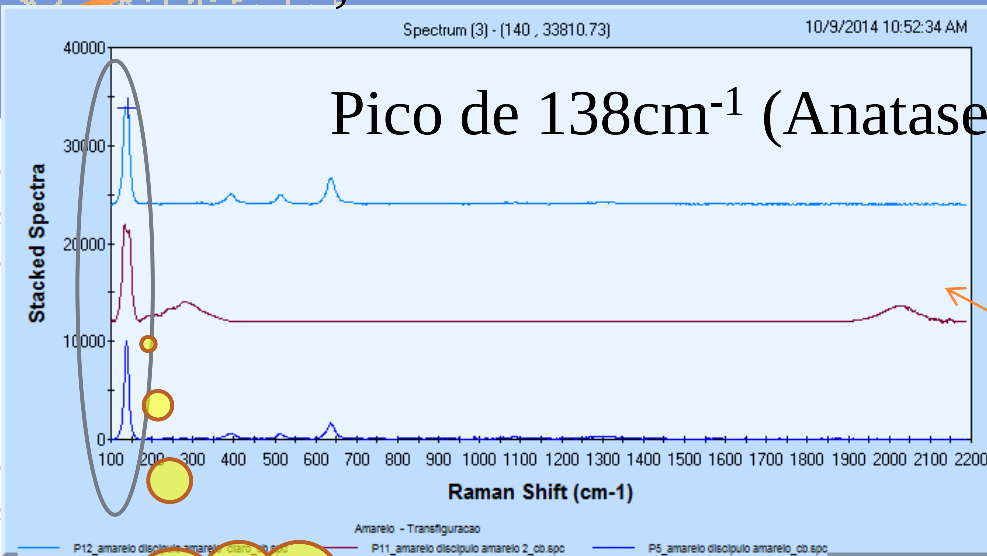
Michael Wiescher Department of Physics, University of Notre Dame, INUpdated: April 4, 2014

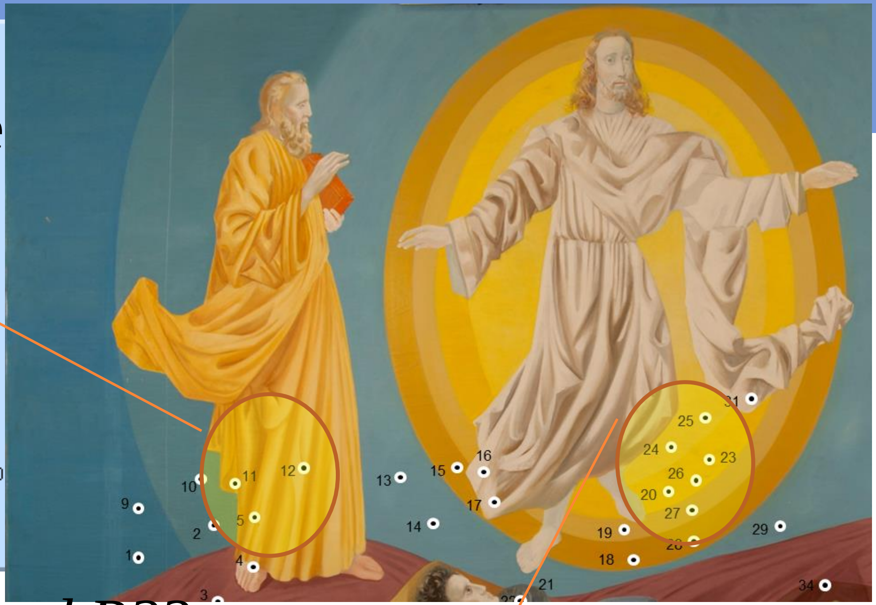
ra: "Transfiguração" de Candido Portinari (1,99x2,99 m)

Raman RESULTADOS – PONTOS AMARELOS

PontOs P12, P11 and P5

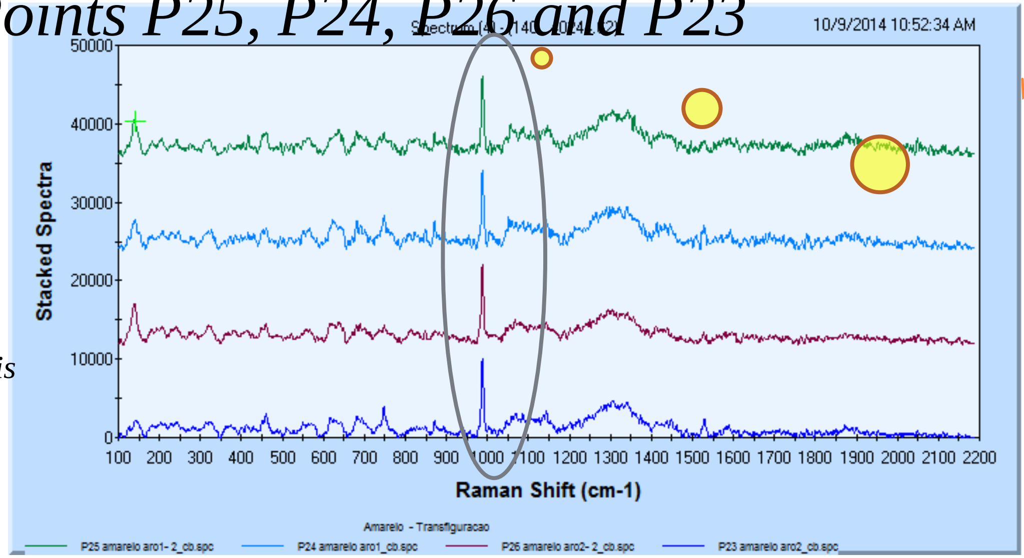
Pico de 138cm^{-1} (Anatase





Pequena quantidade de Ti em pontos amarelos com XRF apresentam alta quantidade de anatase nos pontos Raman

Points P25, P24, P26 and P23



TiO_2 Anatase, linhas principais 138, 390, 512 e 634cm^{-1}. (http://cameo.mfa.org/)

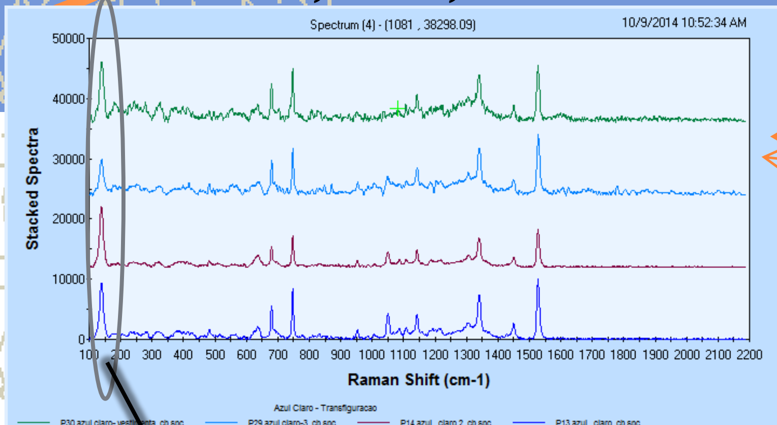
Pico de 988 cm^{-1} Lithopone (ZnS, $BaSO_4$). Branco de Chumbo, pico em 1050 cm^{-1} (pouca quantidade)

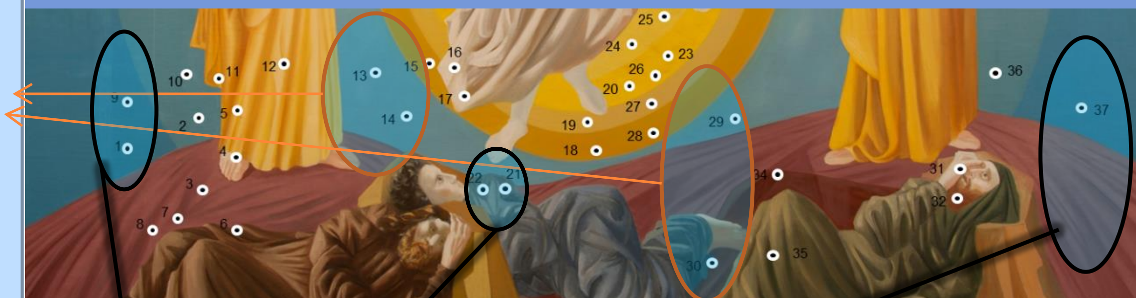
Sem a presença do pico característico do pigmento amarelo (XRF amarelo de Cd)

Obra: "Transfiguração" de Candido Portinari (1,99x2,99 m)

Resultados Raman – pontos BLUE POINTS

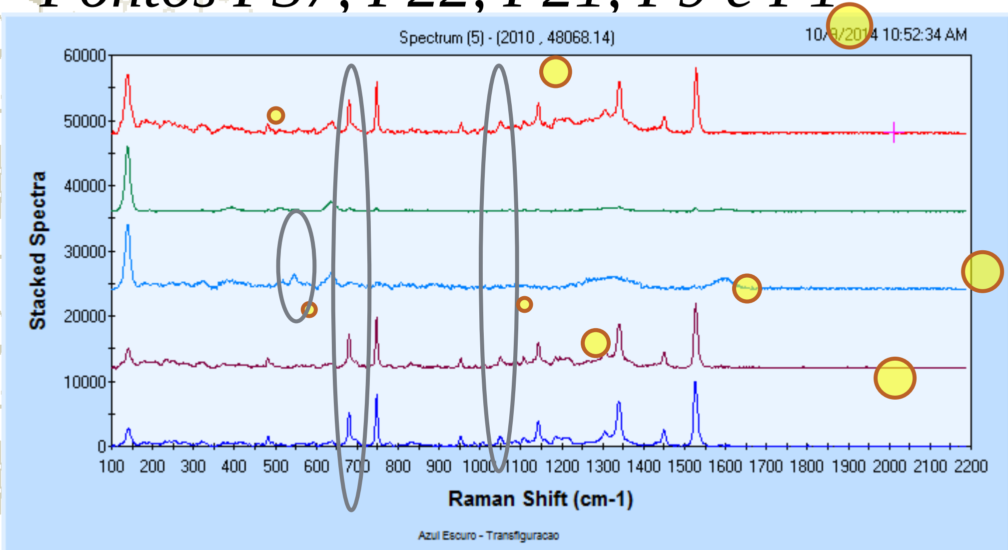
Pontos P30, P29, P14 e P13





Pico de 138cm^{-1} (Anatase – TiO_2).

Pontos P37, P22, P21, P9 e P1



Pico de 670 cm^{-1}
Azul Cerulean ($CoO.SnO_2$) e talves outros picos : 750, 1140, 1340 and 1530 cm^{-1}

Pico de 1050 cm^{-1}
Branco de chumbo (pouca quantidade)

peak at 546 and 1090 cm^{-1}
Ultramar Blue

Outras Aplicações:

(i) biological:

blood, semen, urine
skin
hair (natural or textiles), feathers
vegetal residues, e.g. fibers, wood, paper

(ii) mineral:

gems and other geological specimens
metallic residues

(iii) synthetic materials:

explosives and propellants
plastics and com
paints

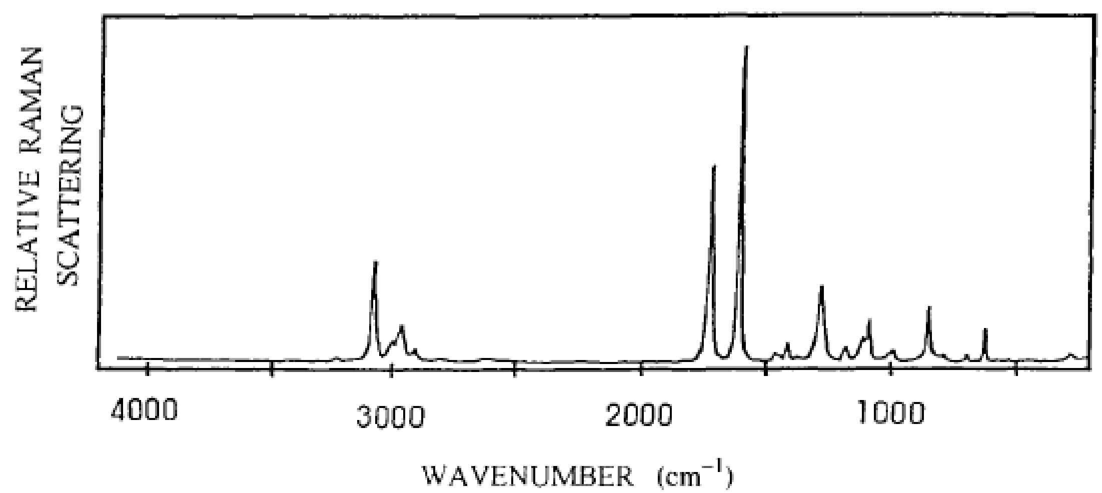


Figure 15 Raman spectrum of a polyester (λ_0 = 514.5 nm; laser power = 10 mW).

Gemas

A aplicação da espectroscopia Raman em gemologia foi revisada por: Bersani e Lottici, que fizeram revisão geral das diferentes pedras preciosas que foram examinadas por Raman.
Smith realizou uma revisão ampla de uso de Raman para identificar minerais no contexto arqueométrico, já que a espectroscopia de Raman é um método espectroscópico molecular que pode diferenciar entre estruturas cristalinas e deste modo é uma excelente ferramenta para a identificação de pedra preciosas.

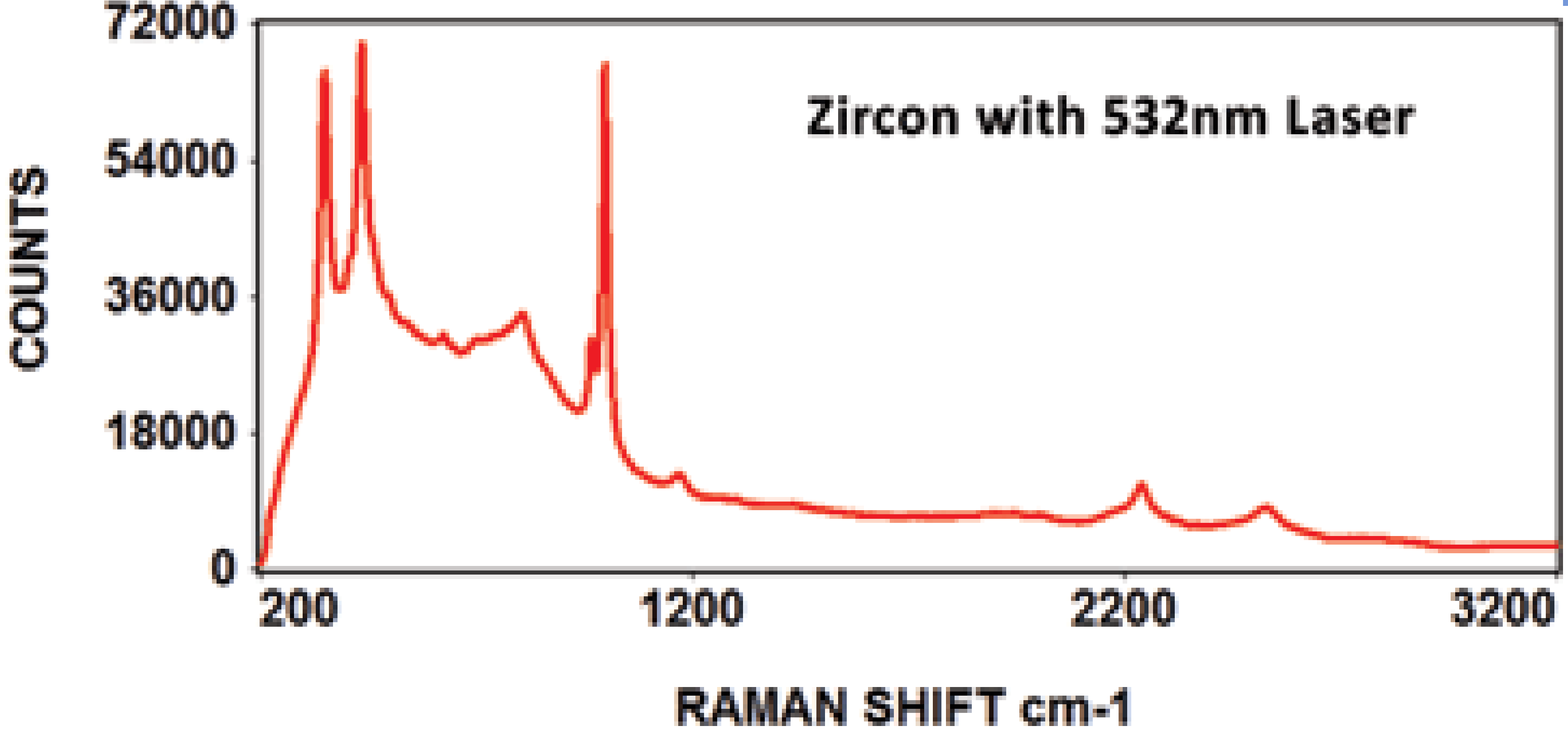
D. Bersani and P. P. Lottici, Anal. Bioanal. Chem., 2010, 397, 2631.
P. Vandenabeele and L. Moens, Anal. Bioanal. Chem., 2006, 385, 209.
I. Reiche, S. Pages-Camagna and L. Lambacher, J. Raman Spectrosc., 2004, 35, 719.

materiais	Raman
Diamantes	1332 cm^{-1}
Rubi e safira (Al_2O_3)	418 e 644 cm^{-1}
Esmeraldas($Be_3Al_2Si_6O_{18}$)	687 e 1070 cm^{-1}

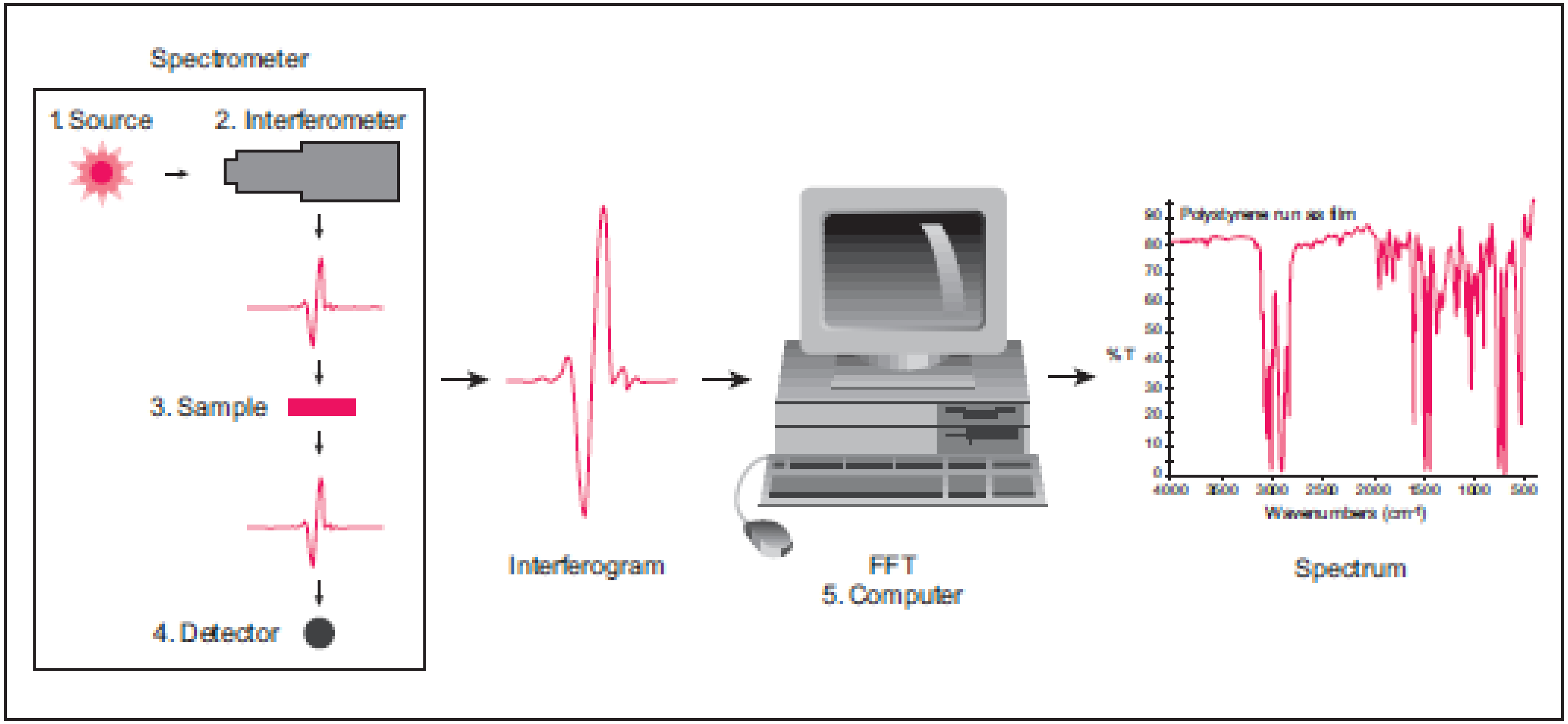
Applications in Art, Jewelry and Forensic Science

Claude Coupry and Didier Brissaud

Exemplos espectros Raman da Zirconia



FTIR – Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier



FTIR – Brucker
modo reflexão

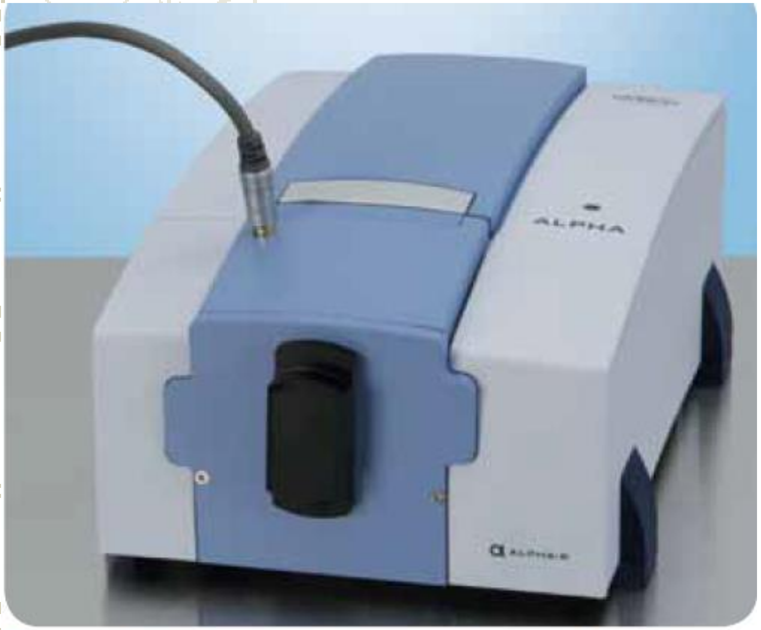


Figure 1: ALPHA-R with forward looking reflection unit including video.

Figure 2: Nottetempo by Mario Schifano with a tripod mounted ALPHA-R in the front.

espectroscopia FTIR para análise de superficie da pintura de Mario Schifano (Centro Studi e Archivo della Comunicazione – Parma)

Resultado FTIR

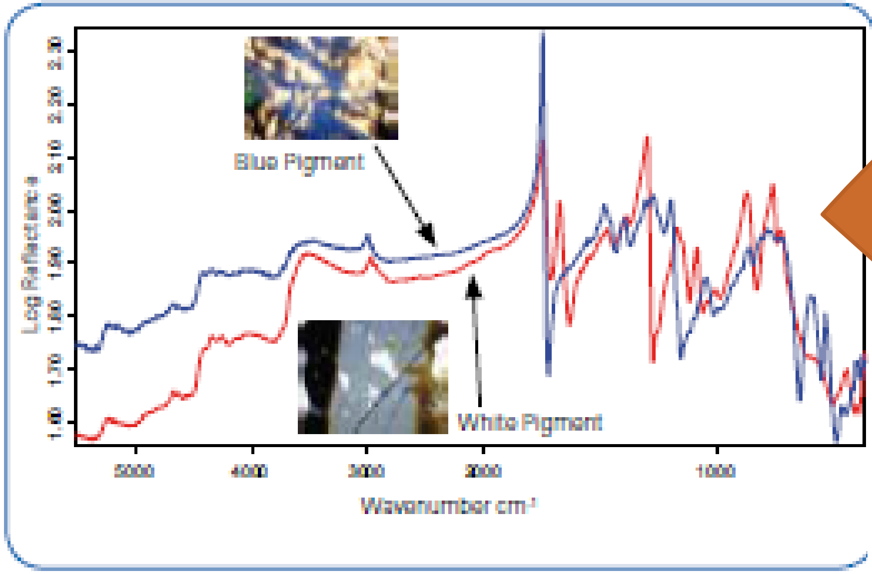


Figure 3: Raw reflection spectra of two different measuring points with two different pigments (blue pigment = blue spectrum, white pigment = red spectrum).

KKT

Transformação Kramers Kroning

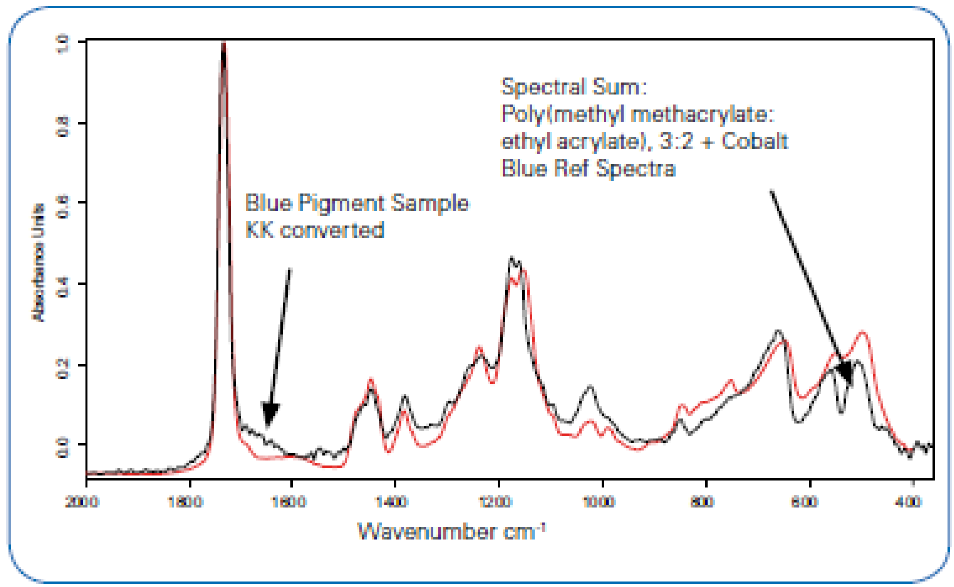


Figure 5: KKT transformed sample spectrum of a blue pigmented area (black curve) and sum spectrum of different reference spectra (red curve).

Brucker®

FTIR

Figure 6: Polittico di Giotto with a tripod mounted ALPHA-R and a laptop PC.

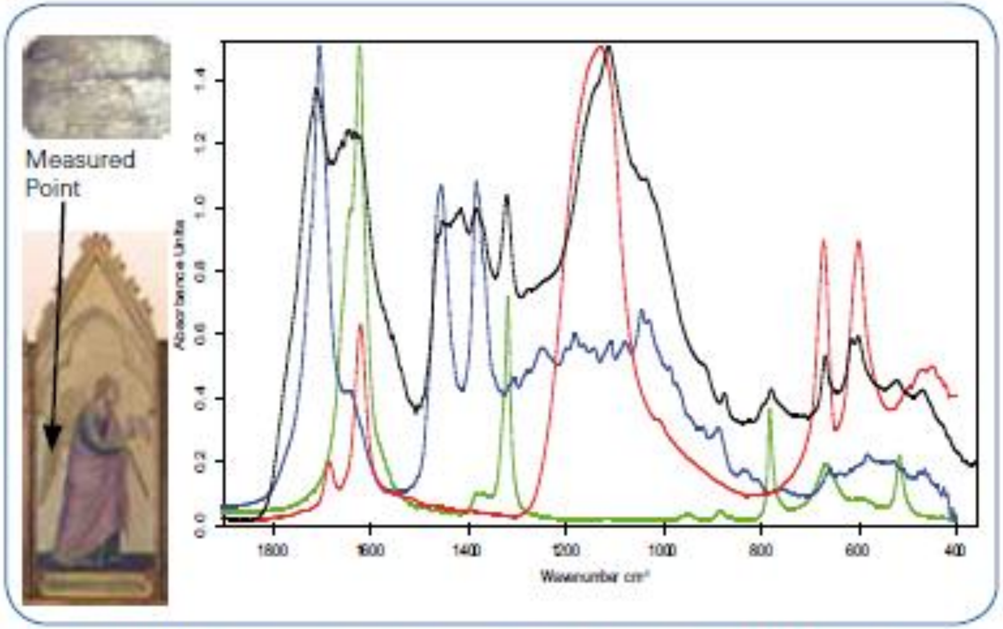


Figure 7: Detail of panel and video image of the measurement point (left). Right: Sample spectrum (black) and reference spectra of terpenic varnish (blue), calcium sulfate (red) and calcium oxalate (green).

Brucker®

DIFRAÇÃO

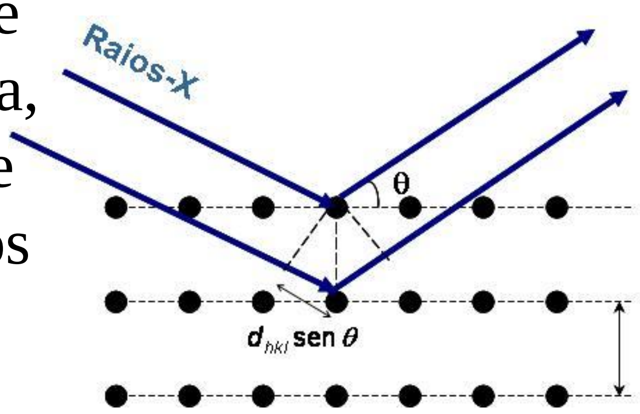
- Condições que permitam observar o fenômeno de difração:
  - Arranjo experimental
  - Radiação incidente
  - Arranjo periódico de átomos

Lei de Bragg: $m\lambda = 2d \, sen\theta$

Resolução: $m\lambda = 2d \, sen\theta$ → $m\Delta\lambda = 2d \cos\theta \, \Delta\theta$ → $\Delta\theta/\Delta\lambda = m/(2d\cos\theta)$

Ocorre melhor dispersão quando o ângulo θ é grande e o valor de 2d é um pouco maior que λ (d pequeno). A resolução é pior para ângulos θ pequenos.

DIFRAÇÃO DE RAIOS X Fenômeno de espalhamento da radiação eletromagnética, provocada pela interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes de um material.



INTERAÇÃO DOS RAIOS X COM OS CRISTAIS

DIFRAÇÃO NÃO É REFLEXÃO

- O feixe difratado contém contribuições do espalhamento de todos os átomos do cristal que estão no caminho do feixe incidente. A reflexão da luz visível ocorre apenas numa fina camada superficial.
- A difração de raios X monocromáticos ocorre apenas em ângulos que satisfazem a Lei de Bragg. A reflexão de luz visível ocorre para qualquer ângulo de incidência.
- A reflexão de luz visível por um bom espelho é ~100% eficiente. A intensidade dos raios X difratados $<<$ intensidade I_o.

ORDENS DE DIFRAÇÃO

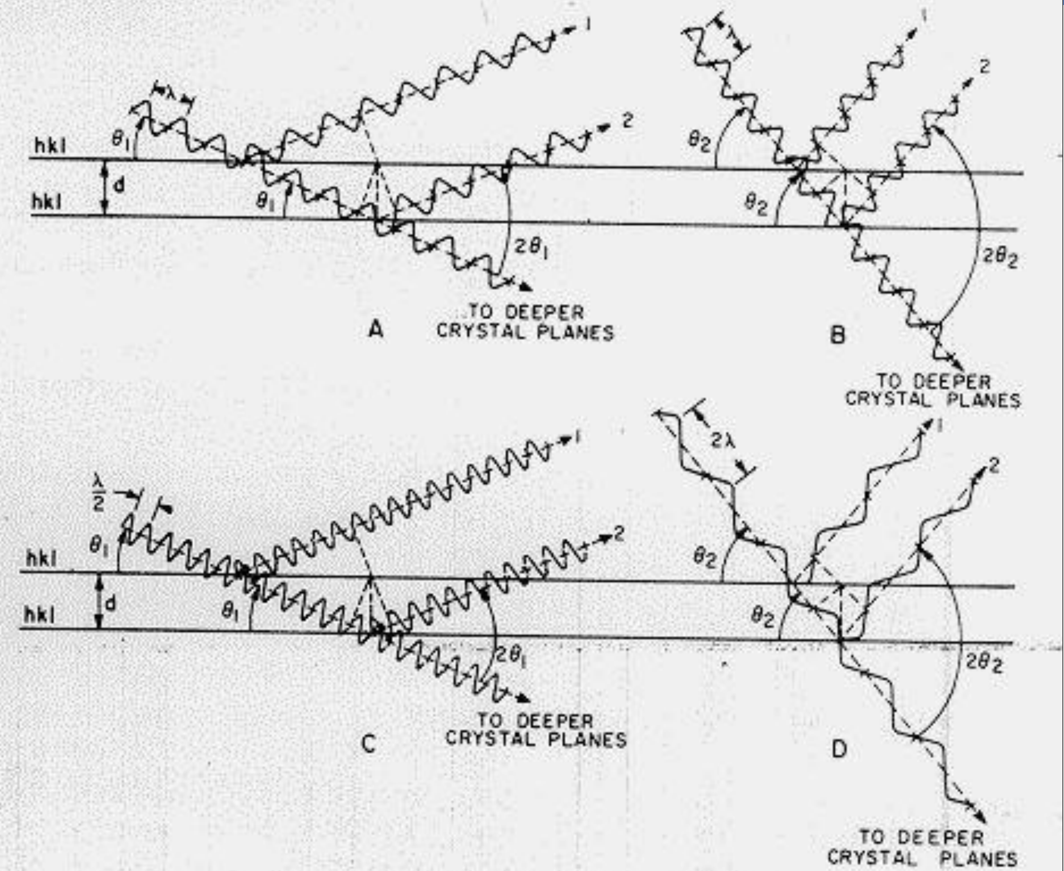


FIG. 2.15. Origin of diffraction orders.

A: Primeira ordem de difração comprimento de onda λ em θ_1 diferença de caminho = λ

B: Segunda ordem de difração comprimento de onda λ em θ_2 diferença de caminho = 2λ

C: Segunda ordem de difração comprimento de onda $\lambda/2$ em θ_1 diferença de caminho = λ (**A**)

D: Primeira ordem de difração comprimento de onda 2λ at θ_2 diferença de caminho = 2λ (**B**)

- Mesmo comprimento de onda difrata o mesmo d_{hkl} em ângulos diferentes.
- Diferentes comprimentos de onda difratam no mesmo ângulo de Bragg.

Bertin,1974

Geometria do estado cristalino

Cristal: arranjo periódico de átomos

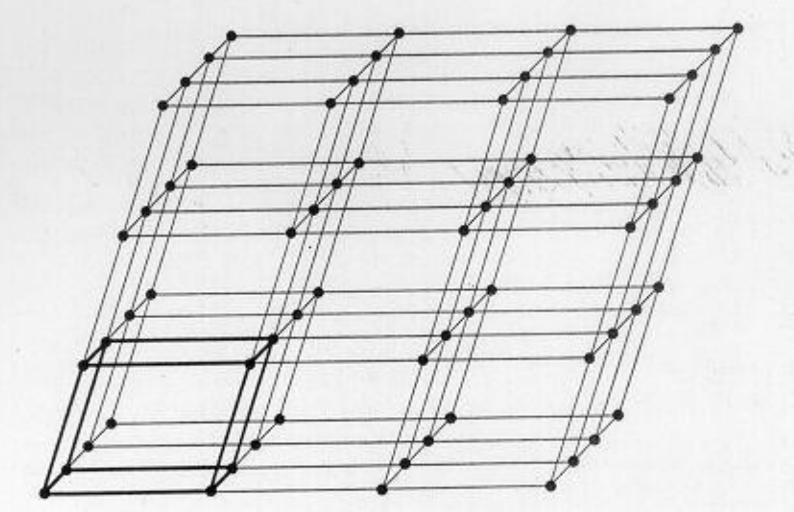


Fig. 2-1 A point lattice.

Parâmetros de rede

a,b,c = eixos cristalográficos

α,β,γ = ângulos entre os eixos

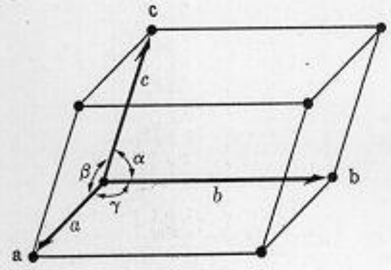


Fig. 2-2 A unit cell.

* Vectors are here represented by boldface symbols. The same symbol in italics stands for the absolute value of the vector.

B.D. Cullity,1956

Difração de raios X

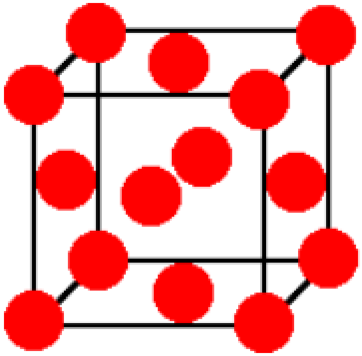


Fig. 5.11

Nessa estrutura, os átomos funcionam como obstáculos, ou centros de espalhamento dos raios X. Os cristais são formados quando bilhões e bilhões de estruturas idênticas são colocadas lado a lado. Desse modo, formam-se famílias de planos atômicos, separadas por distâncias inferiores a 1 nm.

Pode-se utilizar a difração de raios X para identificar novos materiais através do espalhamento dos raios X pelos átomos do cristal e determinar a distância interatômica do material, e deste modo identificar o material

1953 usando esta técnica foi identificado o DNA

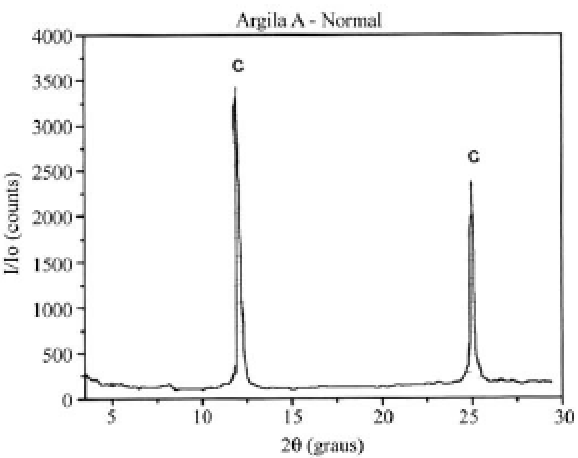
Determinação de argilominerais por XRD

Determinação de fases cristalinas em materiais cerâmicos

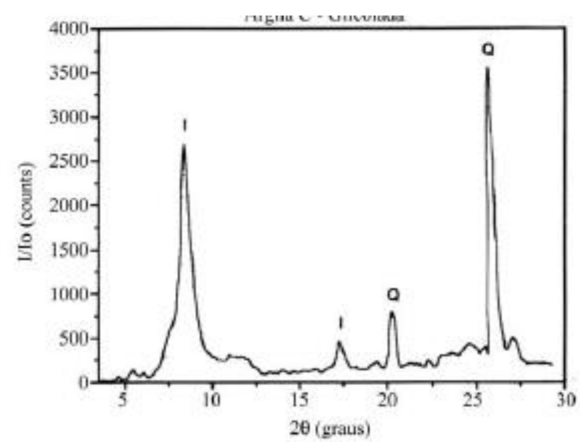
Tabela I - Distâncias interplanares características [1].
[Table I: Interplanar distance [1].]

Distância Interplanar (Å) (pico principal)	Distância Interplanar (Å) (picos secundários)	Argilomineral
7	3,58	Caulinita
10	5,0 e 3,33	Ilita
14	7,0; 4,7 e 3,5	Clorita
14	7,0; 4,7 e 3,5	Clorita expansível
12 ou 14	5,1 e 3,5	Montmorilonita-12 ou 14
14		Vermiculita

Difratograma de uma argila identificando a Caulinita (C)



Difratograma de uma argila identificando o Quartzo (Q) e ilita (I)



A.P.F. Albers – Cerâmica 48 (305) Jan/Fev/Mar 2002

Caracterização mineralógica de azulejos século XVI, XVII e XIX

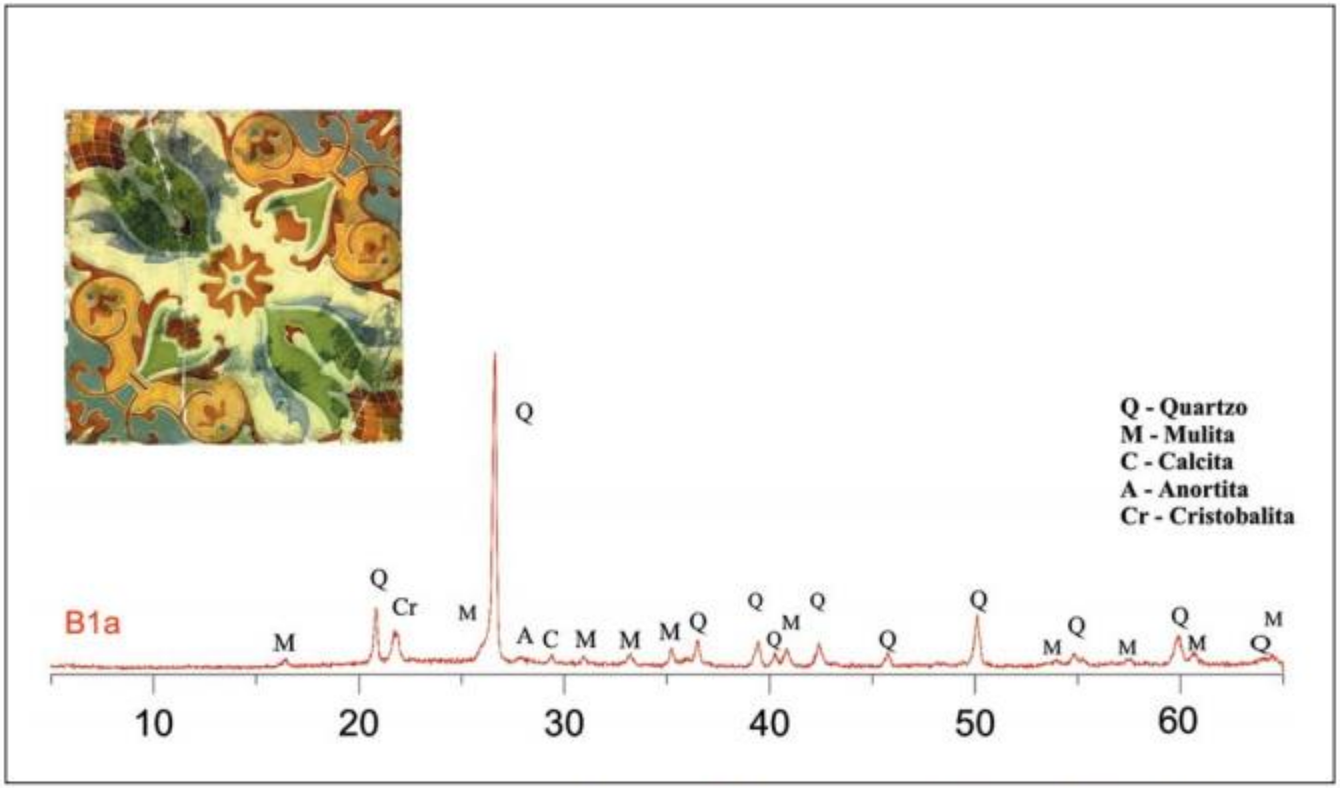


Figura 1 - Difratograma da amostra B1-A, com a imagem do azulejo analisado. Essa amostra de azulejo é do século XIX, da Fábrica Villeroy e Boch, Alemanha.

Thais A. B. Caminha Sanjad, REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 57(4): 255-260, out. dez. 2004

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AZULEJOS SÉCULO XVI, XVII E XIX

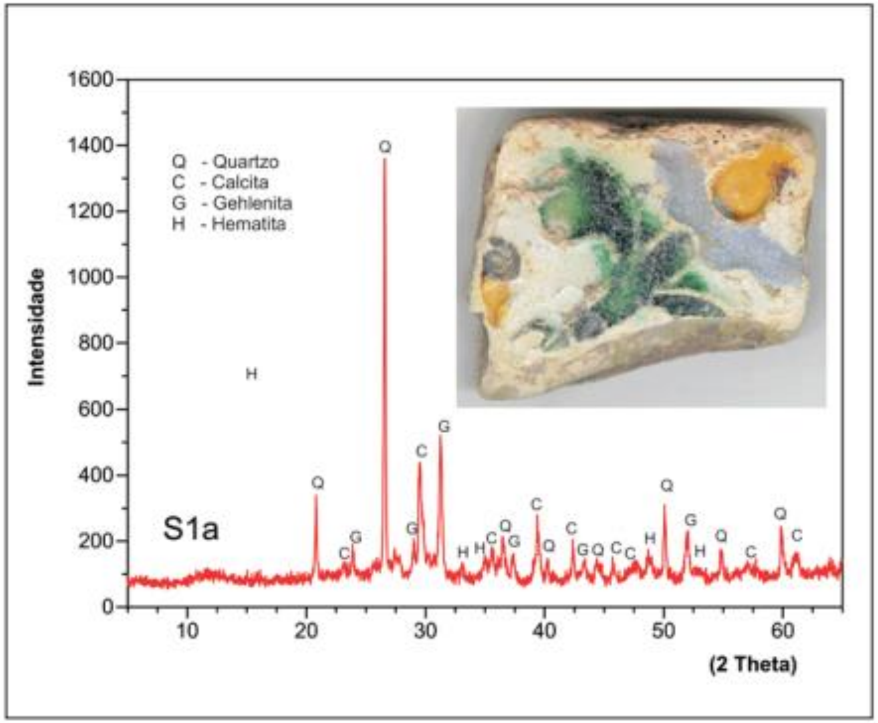


Figura 2 - Difratograma de raios X da amostra S1-A, com a imagem do azulejo analisado, que é um fragmento de azulejo hispano-mourisco.

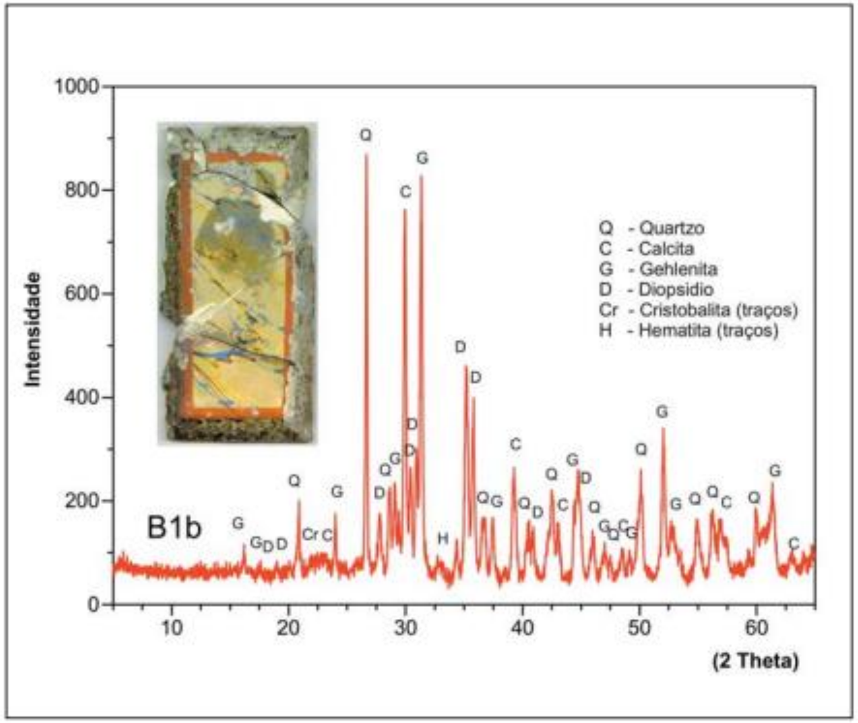


Figura 3 - Difratograma de raios X da amostra B1-B, com a imagem do azulejo analisado, do século XIX e de origem portuguesa.

Thais A. B. Caminha Sanjad, REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 57(4): 255-260, out. dez. 2004

Equipamento de XRD Brucker

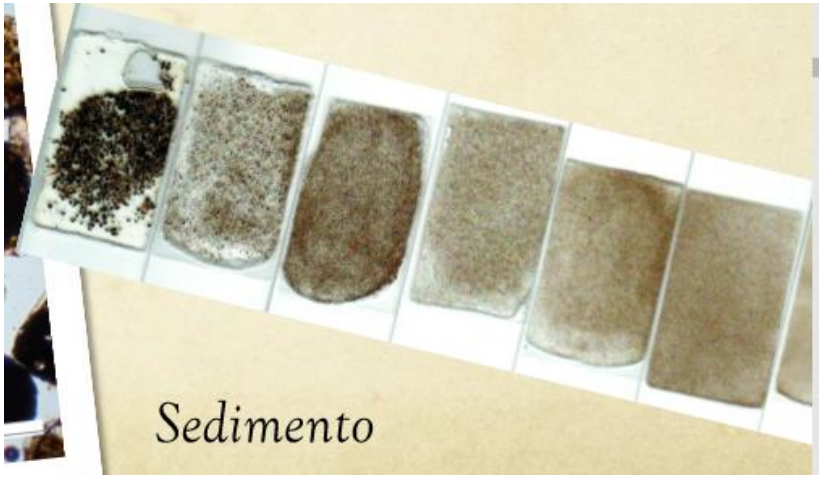
https://www.bruker.com

Applications

- Crystalline phase identification
- Crystalline phase quantification
- % crystallinity
- Crystallite size determination
- Crystal structure analysis
- Crystal orientation
- Texture and preferred orientation
- Microstrain
- Residual stress
- Depth profiling
- Polymorph screening
- High temperature
- Low temperature
- Humidity
- Phase transition
- Nanoparticles

Microscopia petrográfica

Faz uso da interação de um feixe de luz polarizado com uma fina seção da amostra a ser analisada, por meio de uma lâmina de seção delgada da cerâmica, ou matéria-prima argilosa sobre uma lâmina.

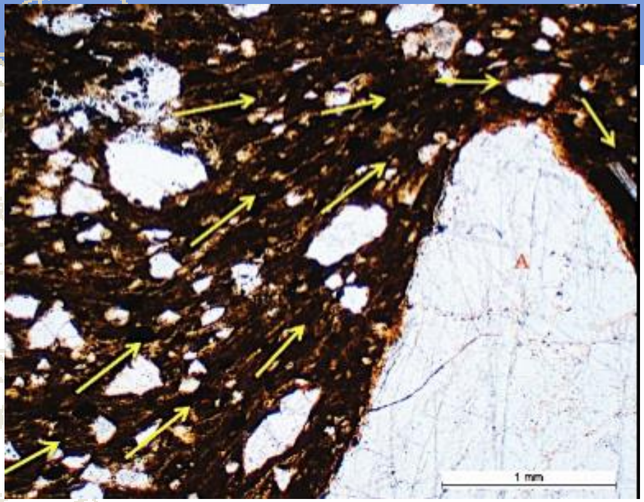


Trabalho de mestrado de Wagner Magalhaes – MAE/USP- 2015

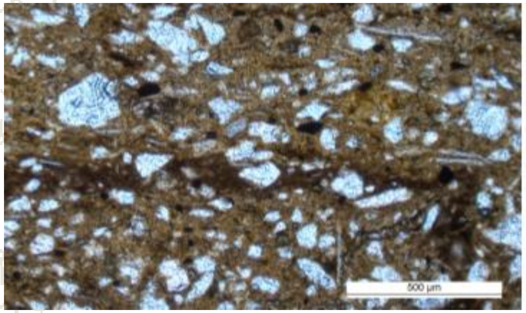
Resultados

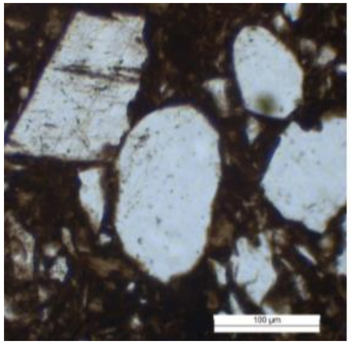
- Objetivou avaliar a composição da pasta cerâmica, por meio das seguintes análises:
  - Distribuição granulométrica,
  - Mineralogia de minerais granulares presentes,
  - Ocorrência de tempero,
  - Técnica de manufatura do artefato,
  - Possível conexão com as fontes de argila no entorno.

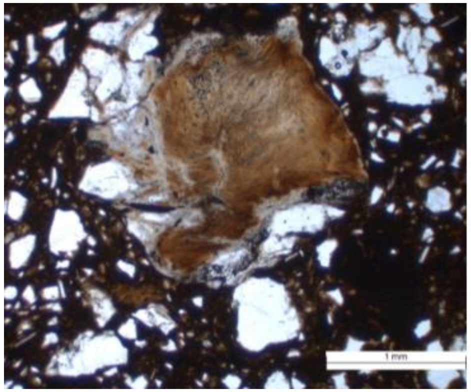
Microscopia petrográfica



Compactação diferencial da pasta no entorno do quartzo devido a produção da cerâmica (emprego de roletes) .



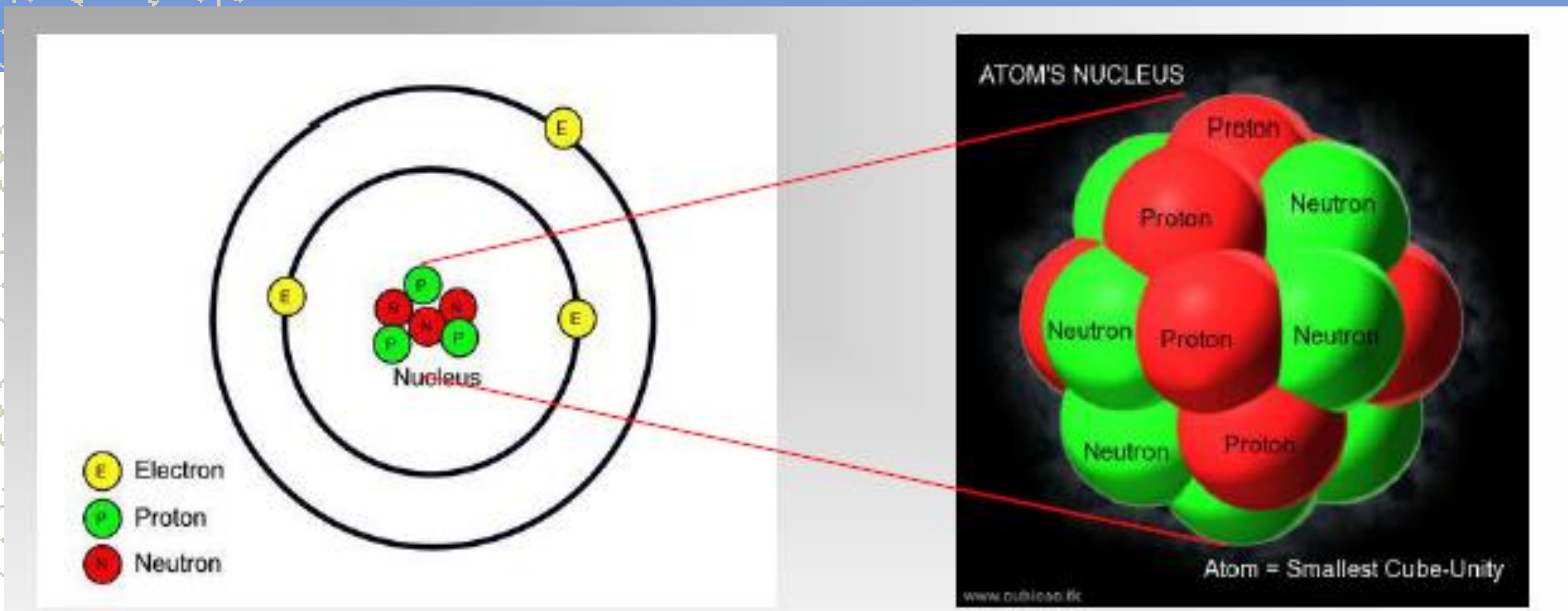




Presença de quartzo, mica verde, Líticos Opacos Oxidados
Comprovação de uso de antiplásticos (temperos) como material granulado, material orgânico calcinado, grãos de quartzo triturados.

Trabalho de mestrado de Wagner Magalhaes – MAE/USP

Do átomo para o núcleo



Os processos nucleares estão presentes em nossa vida todos os momentos. Nestes processos são geradas radiações devido a processos de modificações dos prótons e nêutrons, por emissão de partículas ou por de-excitação nuclear