



**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**



## AULA 3

# 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>

18 de abril de 2017

DISCIPLINA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM MUSEOLOGIA

# Ferramentas Física e tecnologia

As ferramentas físicas e a tecnologia moderna dominam as análises de objetos de arte e arqueológicos

## Propósito da análise de materiais

Identificação do material

Análises das características do material, química, componentes, molecular, isótopos, distribuição

Análise de tecnologias utilizadas

Dureza, textura, componentes químicos, estrutura

Análises de Localização

Conteúdo mineral, elementos traço isótopos

## Propósito da datação

Determinar a idade do artefato do material ou do artefato

# Metodologias Propostas

ETAPA 1 : Exame Visual

Imagens com luz visível,  
IR,UV, radiografia

Exames com microscópio  
óptico

ETAPA 2 : Análises não destrutivas

Análises “in situ” portáteis  
XRF, Raman,  
Difração de raio X

Exames no laboratório  
PIXE, PIGE, RBS,IOL

ETAPA 3 : Análises Microscópicas  
semi-destrutivas

Amostras de pontos  
estratégicos

Exames com SEM-EDS, TEM,  
IR, FTIR, cromatografia



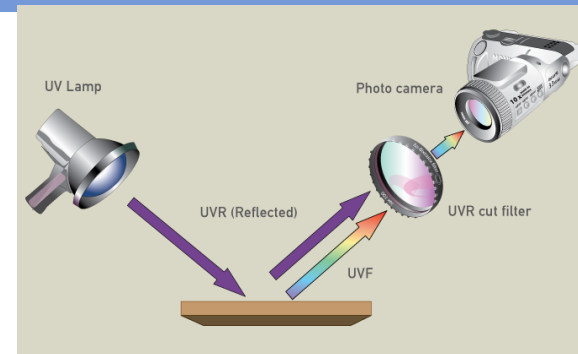
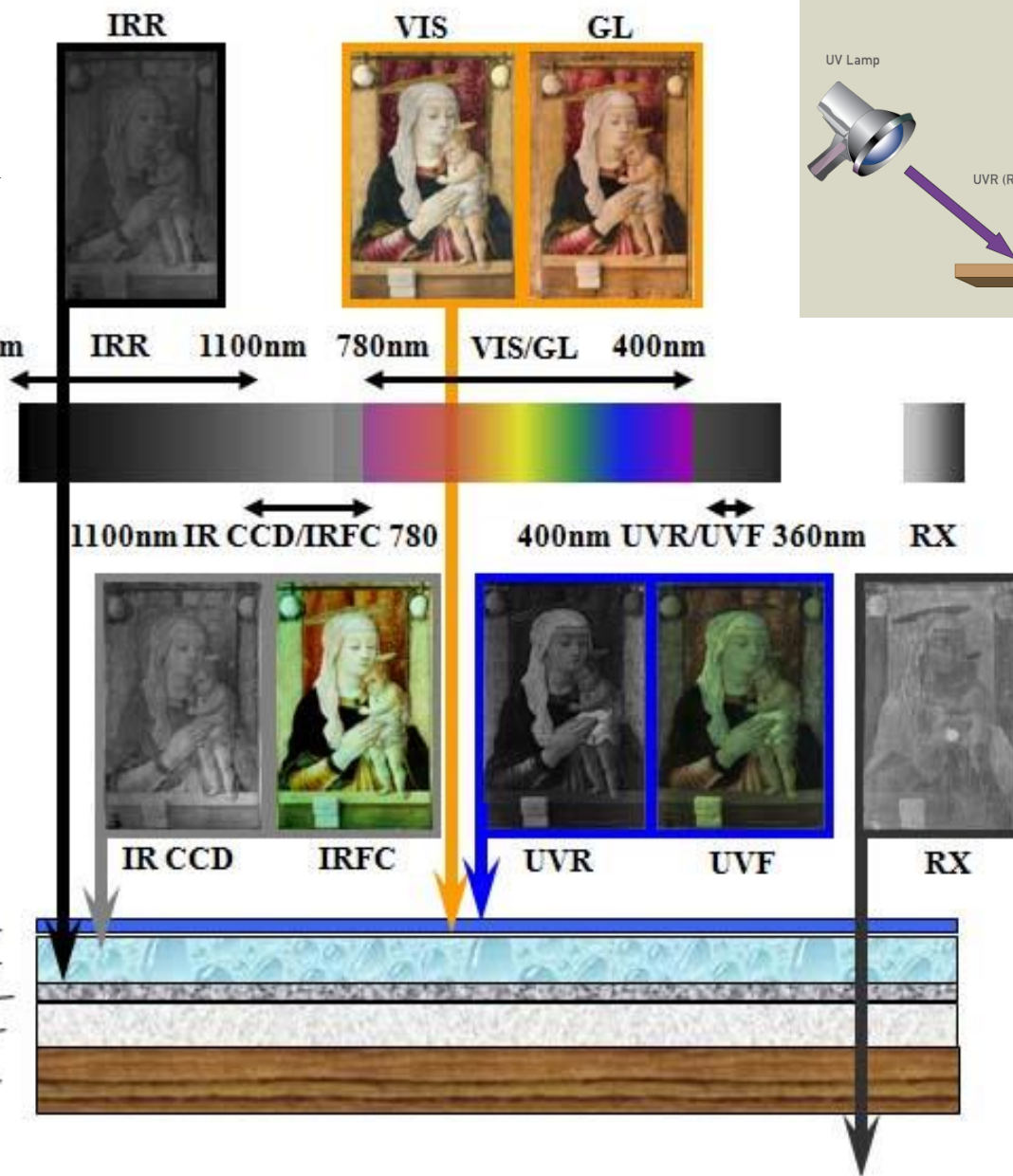
# Técnicas Analíticas por Imagens

- Fotografia por Luz Visível, Luz Rasante
- Refletografia do Infravermelho
- Fluorescência por Ultravioleta
- Microscopia
  - Ótica
  - Eletrônica
- Radiografia, neutrongrafia, eletrongrafia, xerografia
- ...

# Análises por Imagens UVR - UVF

Imagem de infravermelho (próxima do espectro visível) e pode ser detectada com uma câmera comum CCD (IRCCD 780-1100nm) e pode revelar desenhos subjacentes de uma pintura e alguns pigmentos como branco de chumbo se tornam transparente com IRCCD. Geralmente as imagens com IRR são mais efetivas que com IRCCD. IRCCD e IRR são usadas para melhorar a leitura de manuscritos que foram apagados ou sobrescritos.

Varnish  
Pictorial film  
Underdrawing  
Ground layer  
Support



IRFC -  
Infravermelho  
com Falsa Cor

IRFC - Infravermelho com Falsa Cor é geralmente formada pela combinação de uma imagem visível com um imagem de infravermelho (780-1100nm). Há alteração de cor: As partes **verdes** das imagens são mostradas como **azuis**, as partes **vermelhas** como **verdes**, e o infravermelho próxima como vermelho. É possível diferenciar materiais através da imagem de falsa-cor resultante porque variando as características da reflectância na banda infravermelho são possíveis as capturas e observações de diferentes cores

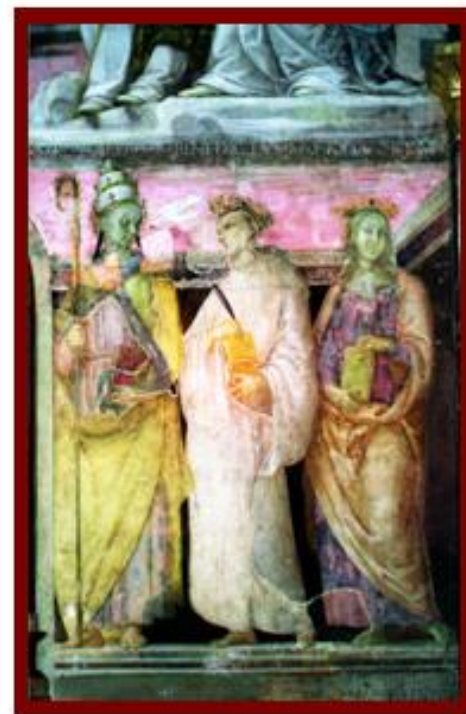


Visible



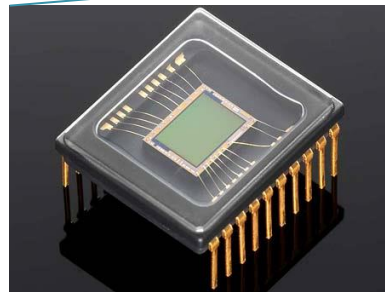
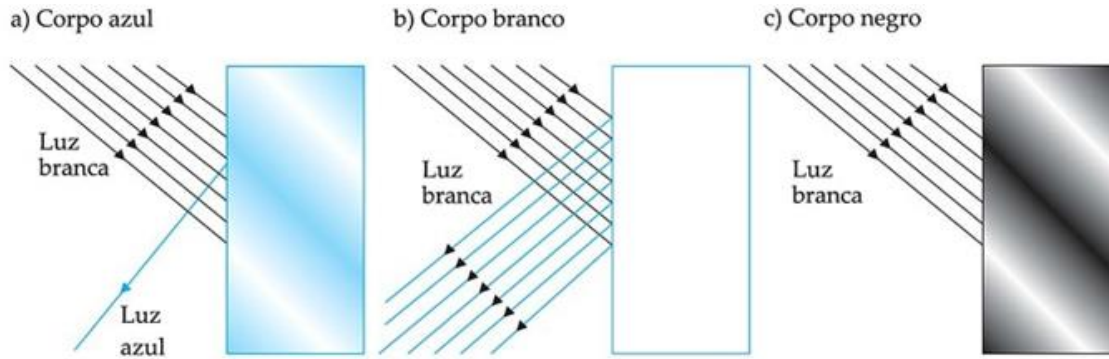
IR

=



IRFC

# Fotografia com Luz Visível



Sensor de Imagem

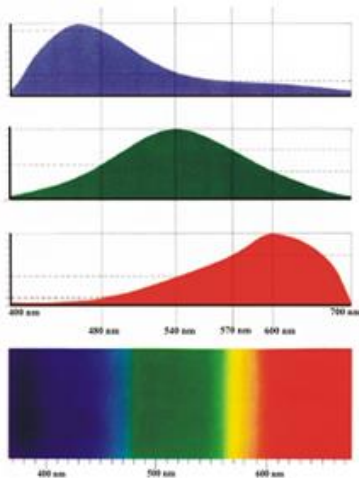
Converte uma imagem óptica em sinais elétricos



Na técnica fotográfica com luz visível : as inspeções visuais possibilitaram avaliações de diversos aspectos da pintura tais como: composição, texturas, detalhes estilísticos, estado de conservação geral dos materiais, a paleta cromática, ...

# COR

A cor não tem existência material. Ela é uma informação visual, uma sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão e decodificada pelo cérebro.

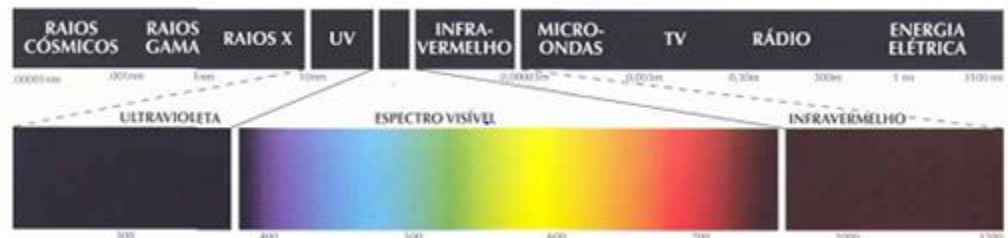


Capacidade receptiva das células da retina humana (GRANDIS, 1986)

A soma da capacidade receptivas das células da retina humana permite que os seres humanos reconheçam tipicamente a faixa do espectro eletromagnético entre os comprimento de onda de 370 e 750 nm (SÈVE, 1996)

R. SÈVE: *Physique de la Couleur*. Ed. Masson, Paris, 1996

Tenho associado a cada cor um  $\lambda$  → comprimento de onda





# TÉCNICAS ANALÍTICAS: MEDIÇÃO DE COR

Espectrofotômetro Konica-Minolta modelo CM-2500d

Diâmetro de área de medição ~8mm

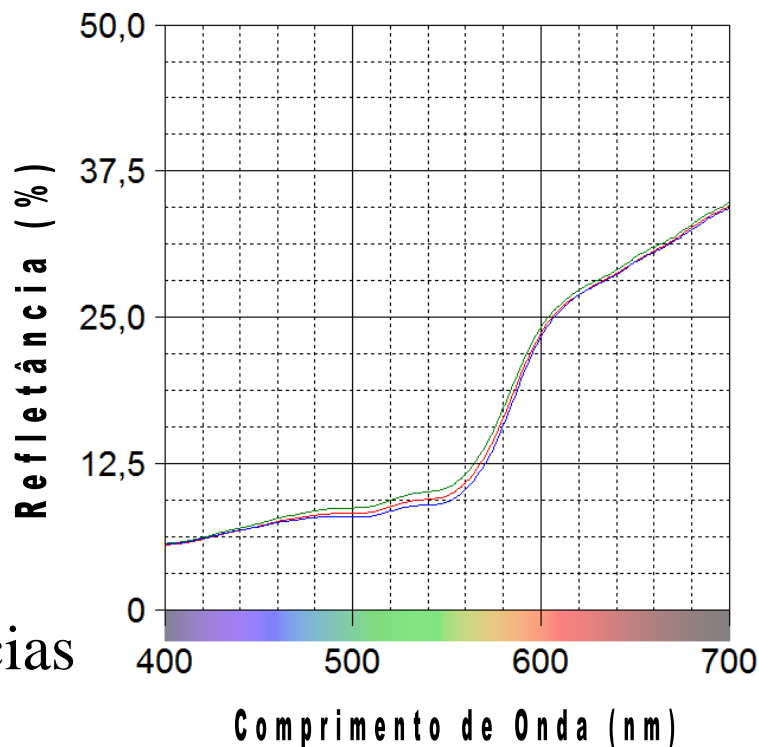


Espectro típico

Cor: marrom avermelhado

Eva Mori – Instituto de Geociências

Prof. Eliana Del Lama



# FORS – Fiber Optics Reflectance spectroscopy

- Esta técnica é usada para identificar pigmentos em camadas pictóricas de trabalhos de arte (quando conhecido o banco de dados de espectros de pigmentos minerais em pó secos).



Figure 1. Miniaturised FORS system (from left to right): halogen lamp, USB4000 spectrometer and integrating sphere.

- vídeo que mostra um pouco como funciona a técnica FORS:  
<https://www.youtube.com/watch?v=euCzJRcSUVs>

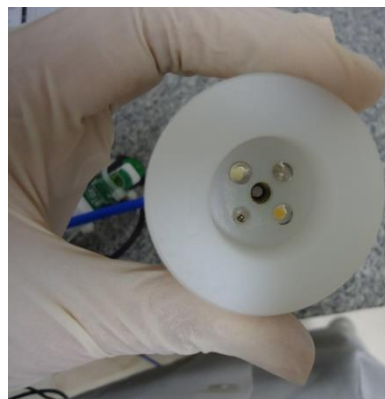
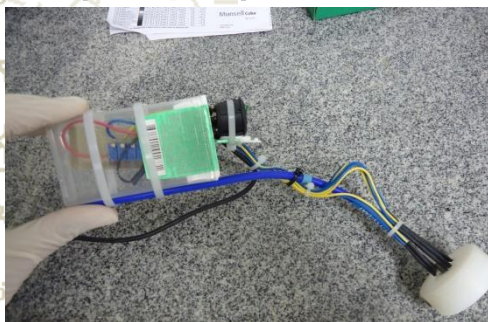


# Equipamento FORS

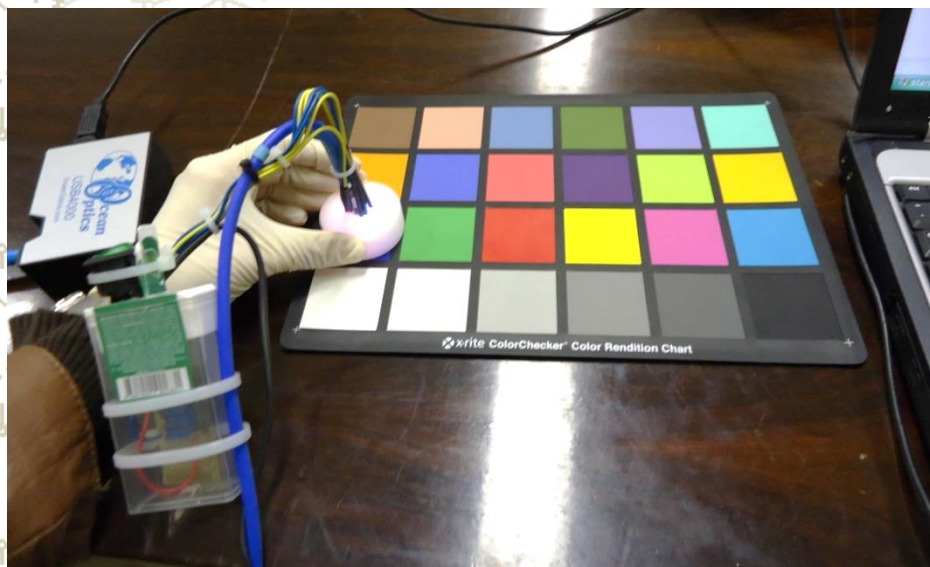


**Desenvolvimento e implementação da técnica FORS (Fiber Optics Reflectance Spectroscopy) equipamento desenvolvido por nós para use em análise de objetos do patrimônio – medidas de Cor**

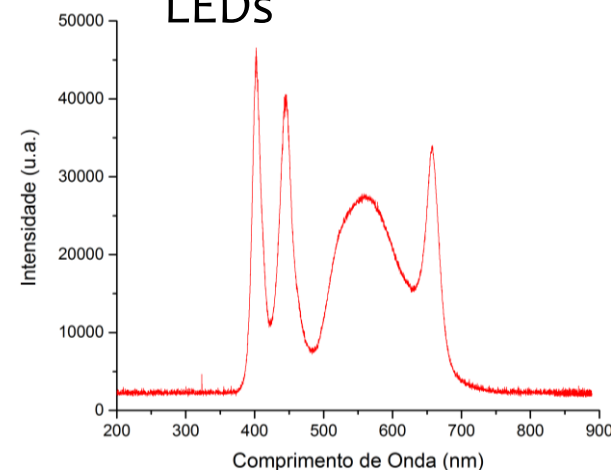
Nosso prototipo do FORs



Vista do arranjo de LED



espectro dos LEDs



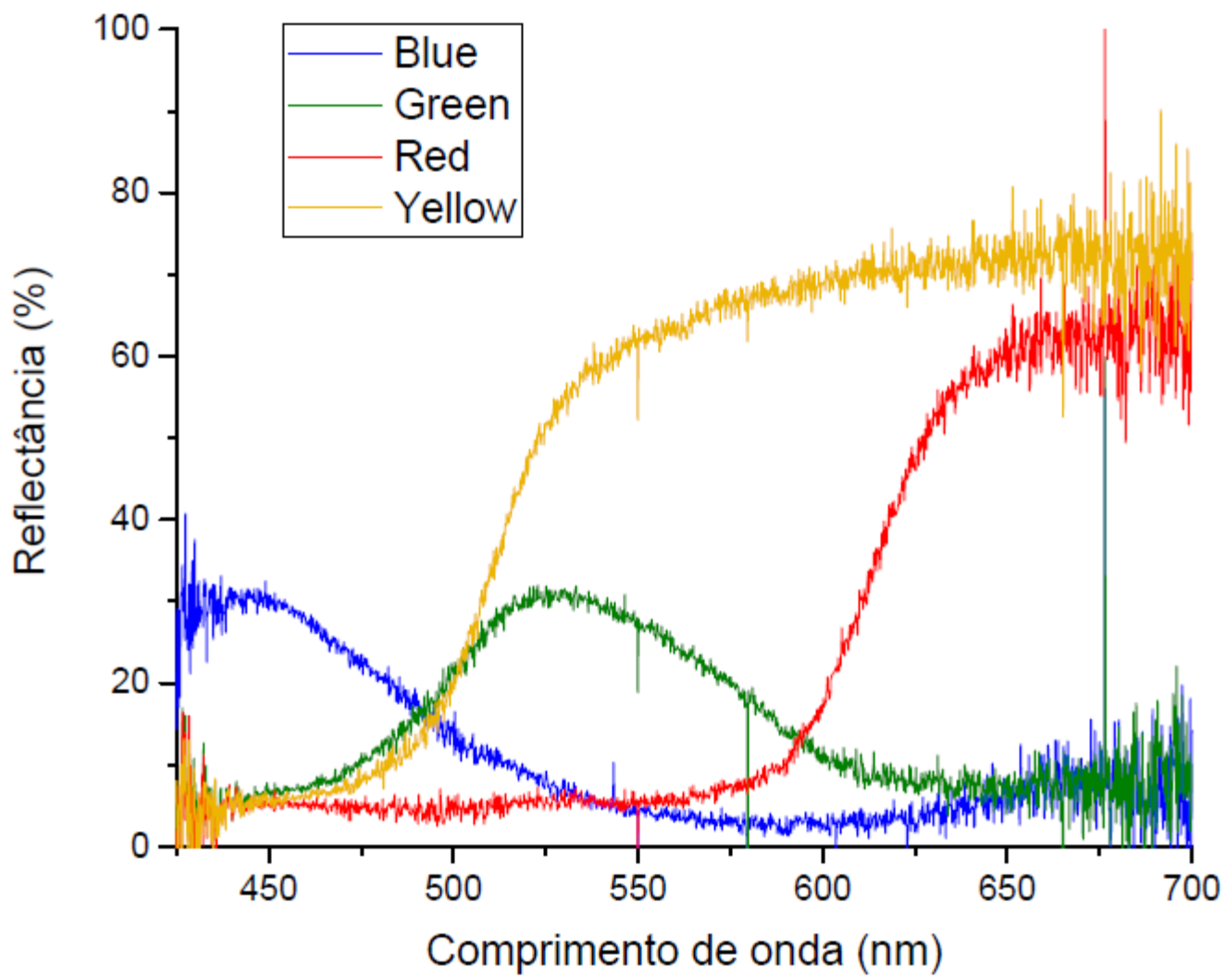
Projeto da Natasha Agüero – Mestrado

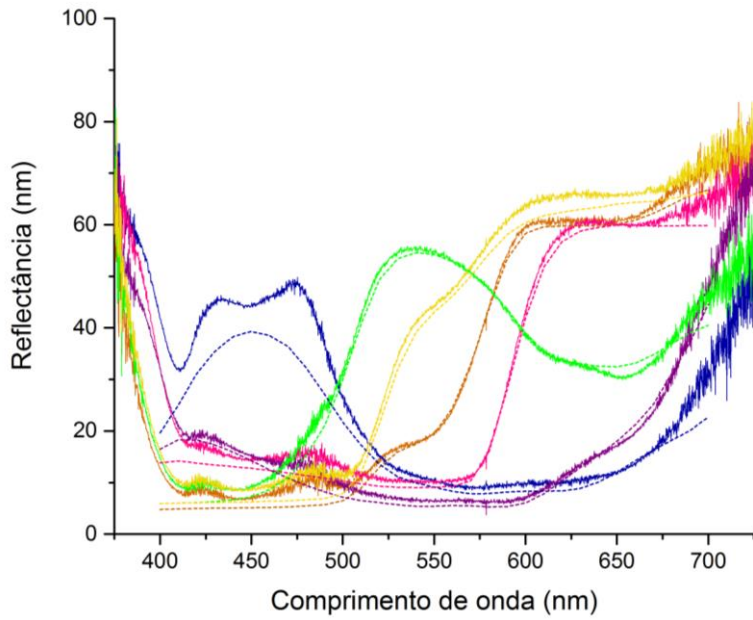
# EQUIPAMENTOS



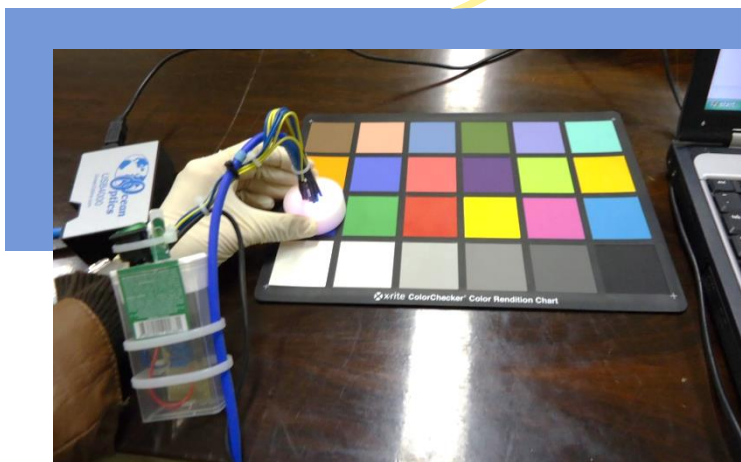
“...city” medidas com o equipamento

or





- Orange (FORS)
- Purplish Blue (FORS)
- Moderate Red (FORS)
- Purple (FORS)
- Yellow Green (FORS)
- Orange Yellow (FORS)
- Orange (2600d)
- Purplish Blue (2600d)
- Moderate Red (2600d)
- Purple (2600d)
- Yellow Green (2600d)
- Orange Yellow (2600d)



## Purple (Daylight)

## Moderate Red (Daylight)



ColorChecker    FORS    Colorimetry  
 2600d  
 Minolta

ColorChecker    FORS    Colorimetry  
 2600d    -  
 Minolta    -

Project of Natasha Agüero

- Master Degree

# TÉCNICAS ANALÍTICAS – IMAGEAMENTO

## Equipamentos

### Fotografia com luz visível

As imagens com fotografia de luz visível, tangencial e transmitida são realizadas com câmera digital com sensor CCD, e filtros acoplados à lente, além de sistemas de lâmpadas halógenas ou de tungstênio. Permitem registrar, documentar, digitalizar as imagens para catalogação de obras e registro do estado de conservação da obra

Fotografia de luz visível

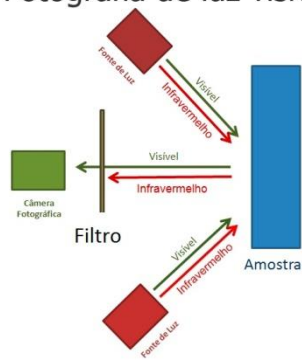
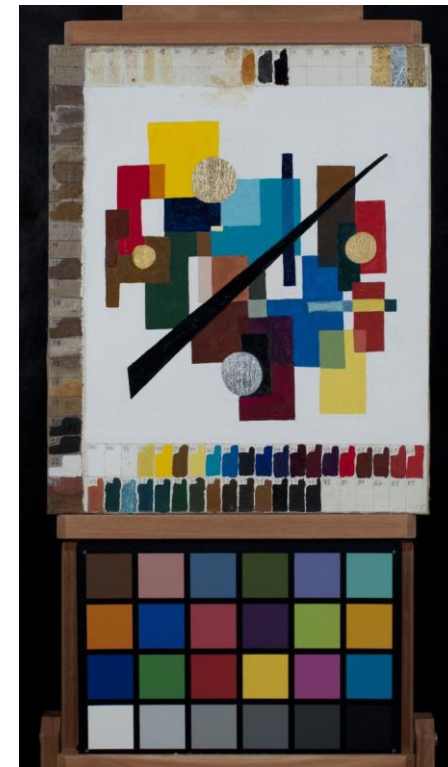


Imagem: P.H. O.V. Campos



Foto: Jade Zendron

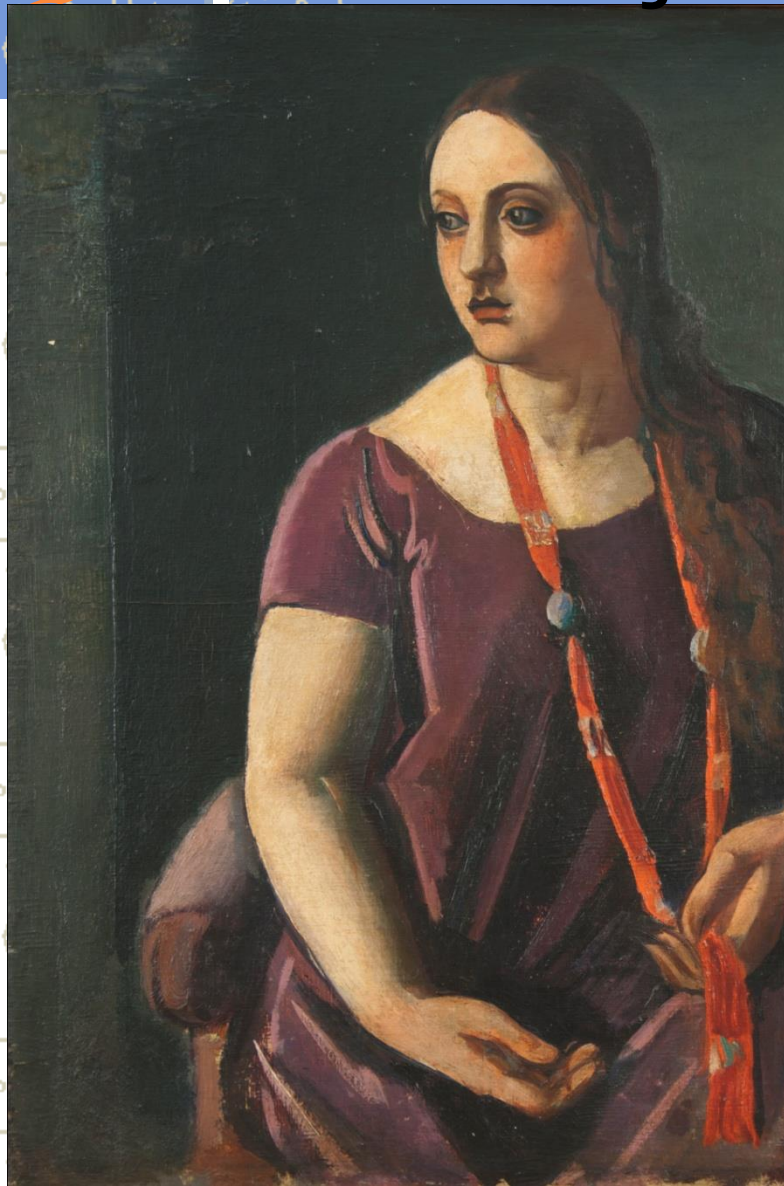


Uso da técnica de luz visível, com a tabela padrão de cores, na obra produzida pela restauradora Márcia Rizzo em 2009

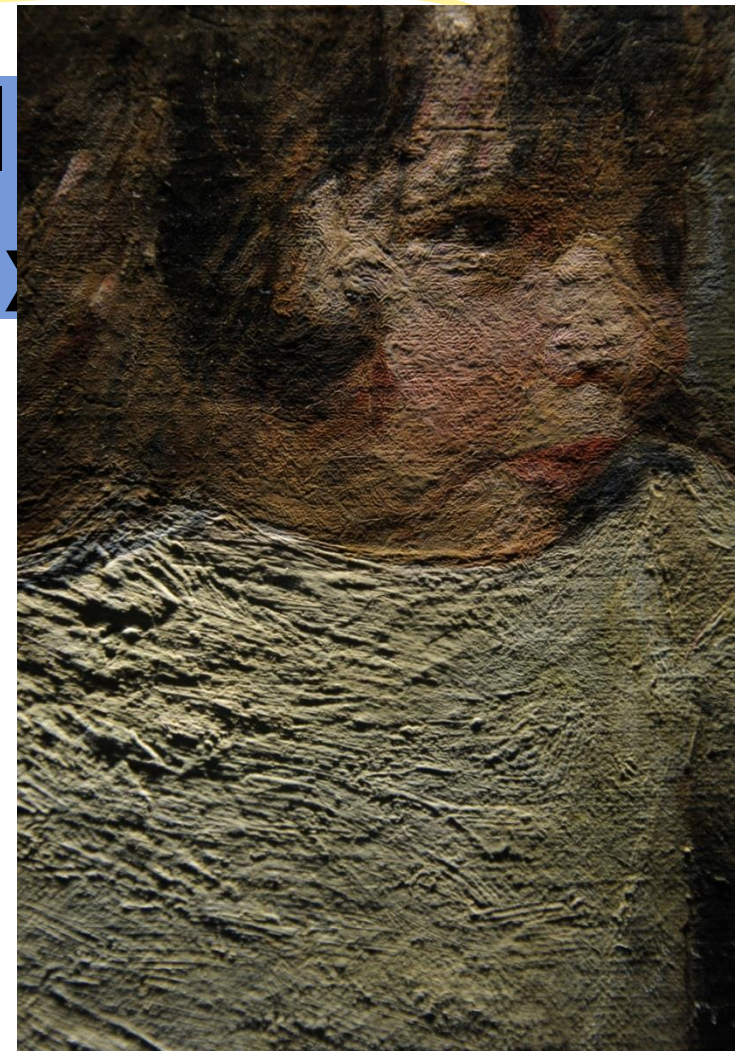
# Luz visível:

## iluminação de topo x rasante)

Achille Funi (1963) – Pintor  
Italiano. Museu de Arte  
Contemporânea –  
MAC/USP



# Luz visível ção de topo x



Criação da Vovó: Oscar Pereira da  
Silva

Pinacoteca do Estado de São Paulo

Colaborador: Laboratório de  
Conservação e Restauro  
Valéria Mendonça

Com Luz  
Rasante

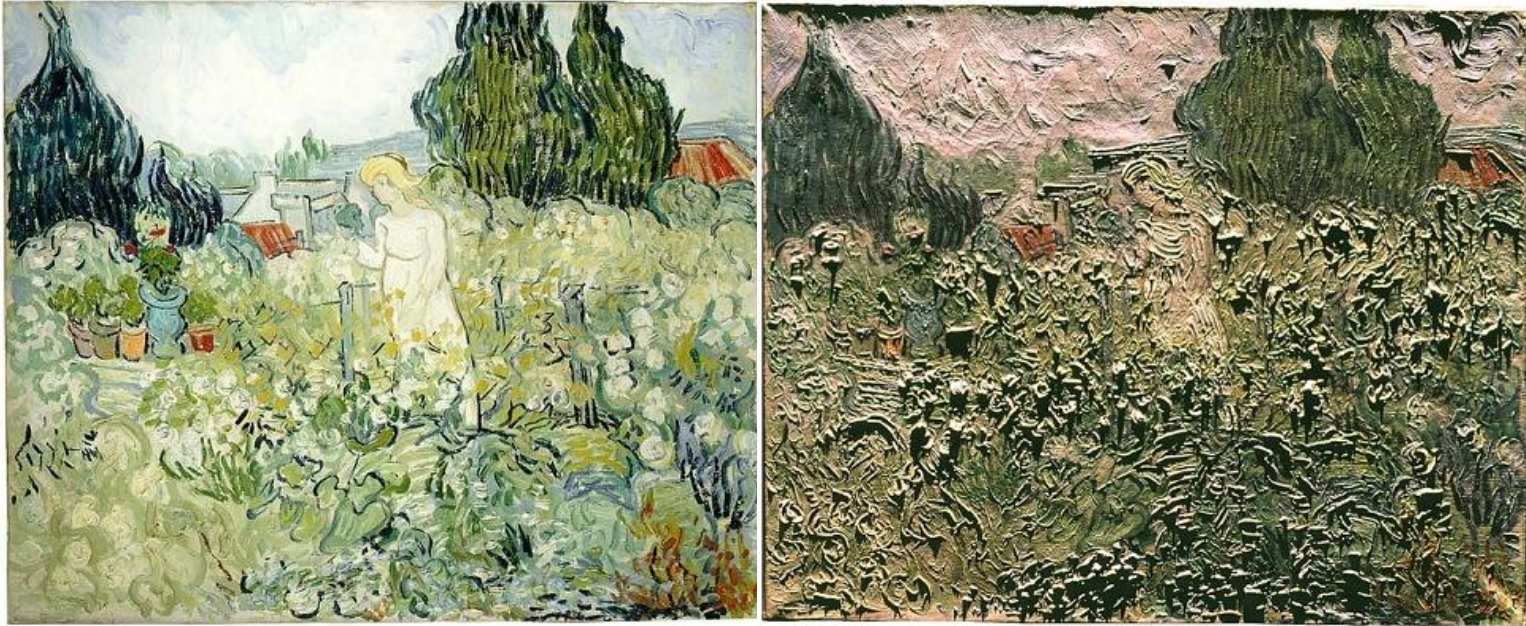
Com Visível

E. Kajiya





# Luz visível: (iluminação de topo x rasante)



Van Gogh.

Jean-Claude Dran, Centre de recherche et de restauration des Musées, 2001

- Visível (400 - 780 nm):

Fotografia para documentação.

Iluminação de topo ou rasante (para realçar detalhes)

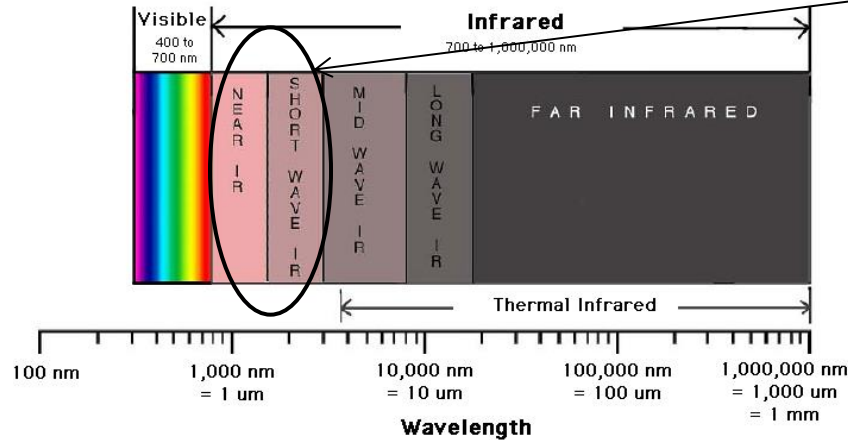
# TÉCNICAS ANALÍTICAS – IMAGEAMENTO



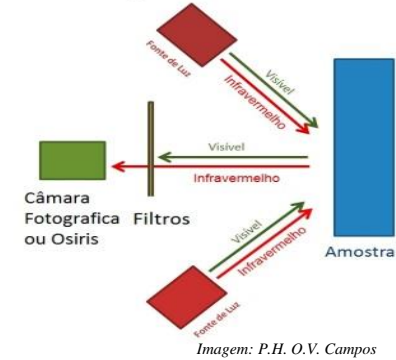
## Equipamentos

### Fotografia de reflectografia de infravermelho (IR)

Infravermelho próximo (400 – 900nm) e curto 900nm – 1700nm



### Reflectografia Infravermelho



Filtro corta IR,  
presente na maioria das máquinas  
fotográficas digitais, câmaras especiais  
não possuem este filtro interno de IR

### Câmara de reflectância de IR - Osiris



# TÉCNICAS ANALÍTICAS – IMAGEAMENTO



## Equipamentos

### Fotografia de reflectografia de infravermelho (IR)

(IR)

Infravermelho próximo (400 – 900nm) e curto 900nm – 1700nm

Reflectografia Infravermelho

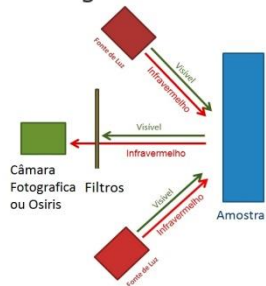
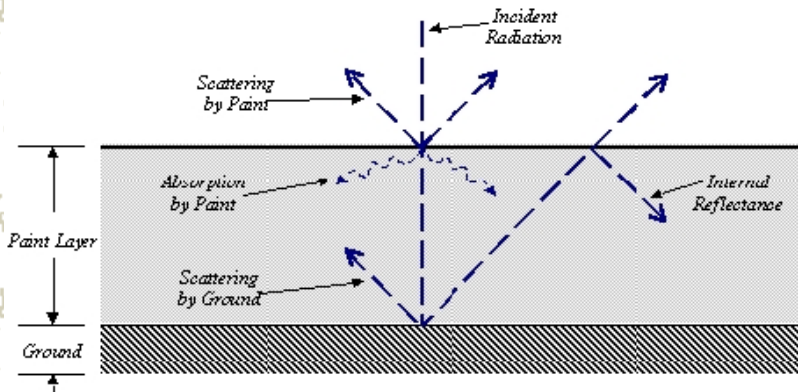


Imagem: P.H. O.V. Campos

A imagem observada resulta da conjunção dos fenômenos de reflexão, absorção e transmissão da camada superficial revelando peculiaridades escondidas.

A visualização dos desenhos depende de dois aspectos: contraste e transparência.

E a qualidade da observação de **desenhos ou imagens subjacentes** é obtida dependendo de vários parâmetros como a espessura da camada superior, do material utilizado para o desenho ou imagem..



Para a análise IR é necessário que a radiação IR seja capaz de passar através das camadas de pintura do objeto de arte

# Reflectografia com Infravermelho



Hora da Música: Oscar Pereira da Silva, 1901



Detalhe do processo criativo do artista; desenho subjacente.

# Reflectografia com Infravermelho



Hora da Música: Oscar Pereira da Silva, 1901

Pinacoteca do Estado de São Paulo

E. Kajiya



Reflectografia de Infravermelho: o artista reaproveitou a tela.

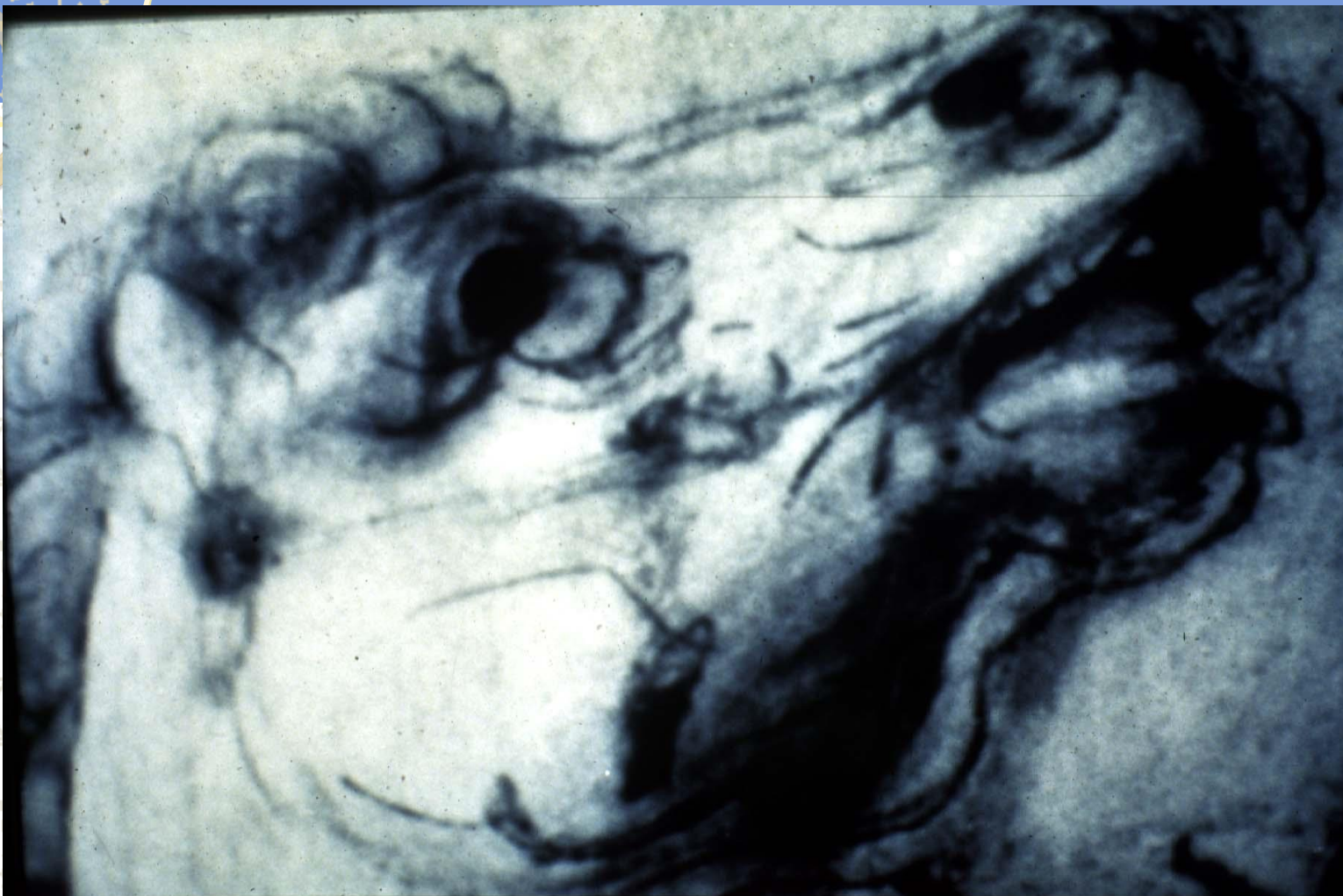


# Pintura do Raphael



Jean-Claude Dran, Centre de  
recherche et de restauration des  
Musées, 2001

# Análise por Reflectografia por Infravermelo



Jean-Claude Dran, Centre de  
recherche et de restauration des  
Musées, 2001



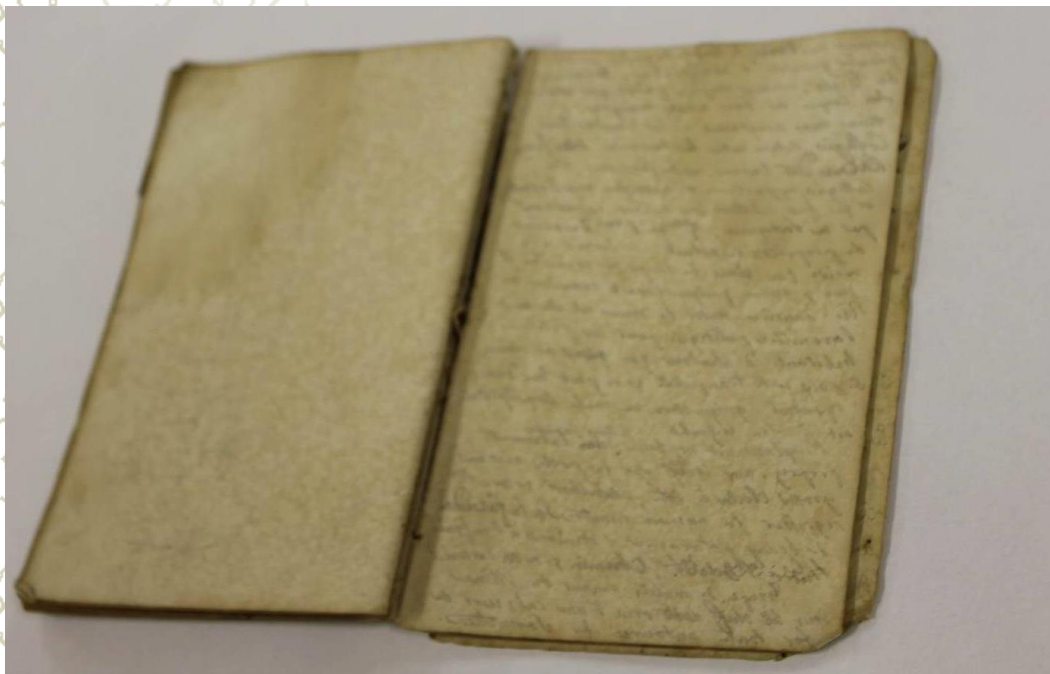
# Diário de viagem de Adrian Taunay

Pertencente ao Museu Paulista da Universidade de São Paulo

Foi estudado durante o processo de restauro  
por **Ina Herget** [inahergert@usp.br](mailto:inahergert@usp.br)

E pelo grupo da

Escola Senai Theobaldo De Nigris/ [senaigrafica@sp.senai.br](mailto:senaigrafica@sp.senai.br)  
[www.sp.senai.br/grafica](http://www.sp.senai.br/grafica)

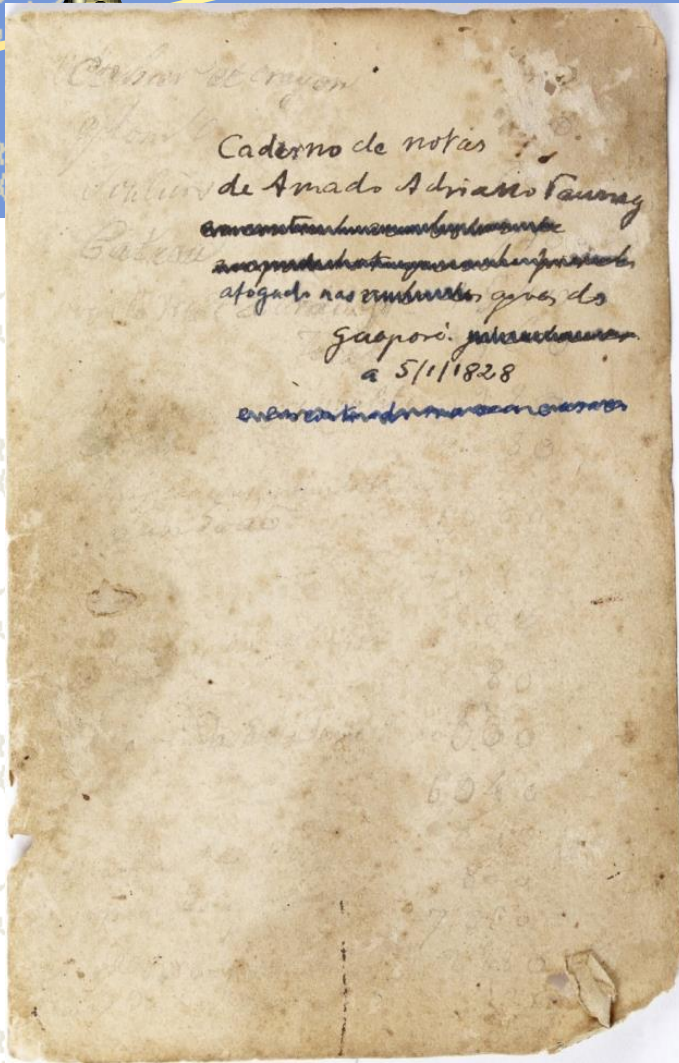




## Aimé-Adrien Taunay

- ✦ Aimé-Adrien Taunay (Paris, 1803 - Rio Guaporé - Mato Grosso, Brasil 5 de janeiro de 1828);
- ✦ Filho de Nicolas-Antoine Taunay, membro da Missão Artística Francesa 1818.
- ✦ 1822 Viagem de circum-navegação dirigida por cientista Louis-Claude Saulces de Freycinet, onde trabalhou como ilustrador;
- ✦ Em 1824 Adrien volta ao Brasil, faz uma longa viagem ao redor do Rio de Janeiro, passando por Nova Friburgo e Cantagalo;
- ✦ Em 1825 o artista foi contratado como desenhista da expedição organizada por Georg Heinrich von Langsdorff;
- ✦ Morre em 1828 no Rio Guaporé em Mato Grosso
- ✦ No início de anos 2000, houve a aquisição de vários documentos da família Taunay pelo Museu Paulista - **um diário deste artista**

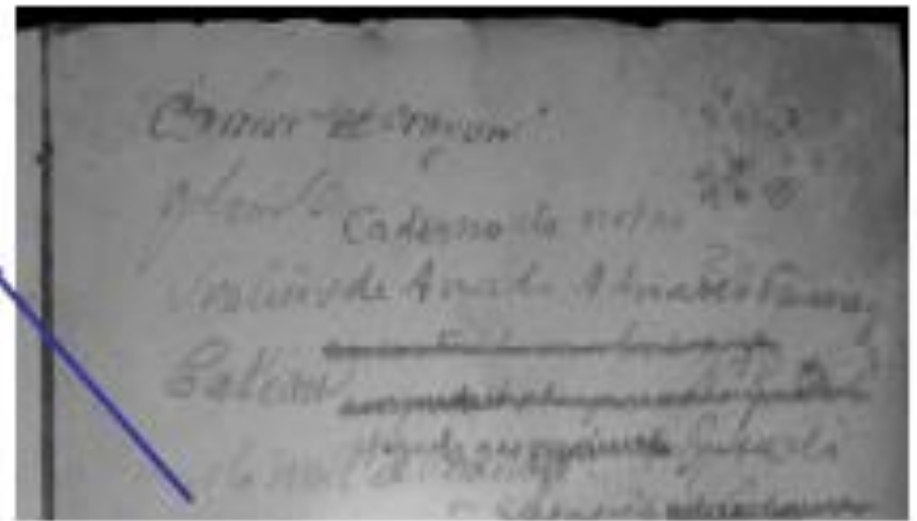
# Diário de Adrien Taunay



Problemas de conservação: sujidades, manchas, suporte frágil. (Foto: Heitor Florence)

# Primeiros testes com a câmara fotográfica especial

## PRIMEIRA PAGINA



1c

Foto: E. M. Kajiya

Pode revelar detalhes escondidos, mas  
observamos ambas as informações (tinta e e  
grafite)

por Ina Herget

Caderno de notas

de Amado Adriano

Caderno de notas

de Amado Adriano

em 5/11/1828

atogado nas...

gaspori...

a 5/11/1828

em 5/11/1828

Carteira e crayon

plomo

lunetas

Bateau

para a noite a...

Total

para dejeuner...

para dejeuner...

para dejeuner...

para dejeuner...

para dejeuner...

para dejeuner...

para dejeuner...

para dejeuner...

1000

200

800

740

1540

3560

280

80

1000

4940

500

80

500

6040

240

800

7080

2880

120

10080





# Diário de Adrien Taunay

## Resultado: Imagem visível e em IR

M. Taunay  
J'ai le plaisir de vous adresser  
2000 tubes de l'Alcool de Carole  
votre  
Directeur Patugnan  
M. l'Administrateur  
p. 1100  
le 20/10/1850  
le 20/10/1850  
Dedre tout Village des Sauvages  
Tous volants. 3 espèces de  
sauvages tabacs bantouans,  
Bougias. Specimens avec  
les Sauvages. Les noms y facile  
Communes avec un vent de  
apportés à tous les chefs  
avec Warotha. Le Copier  
aujourd'hui. Secours de desmeris  
les autres sous les yeux de  
Un bon un vin d'Alcool pour  
lui, des Sauvages, pour  
quelques un d'habitants d'Alcool

M. Taunay  
J'ai le plaisir de vous adresser  
2000 tubes de l'Alcool de Carole  
votre  
Directeur Patugnan  
M. l'Administrateur  
p. 1100  
le 20/10/1850  
le 20/10/1850  
Dedre tout Village des Sauvages  
Tous volants. 3 espèces de  
sauvages tabacs bantouans,  
Bougias. Specimens avec  
les Sauvages. Les noms y facile  
Communes avec un vent de  
apportés à tous les chefs  
avec Warotha. Le Copier  
aujourd'hui. Secours de desmeris  
les autres sous les yeux de  
Un bon un vin d'Alcool pour  
lui, des Sauvages, pour  
quelques un d'habitants d'Alcool

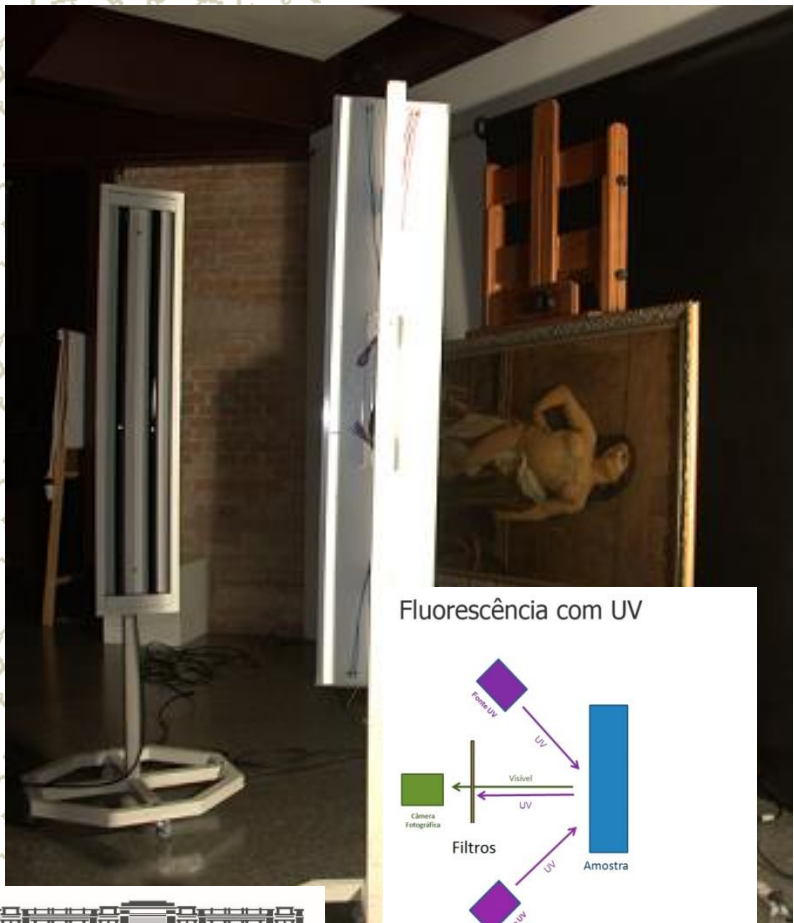
Imagem visível em alta resolução e em IR da folha 20 (frente) do diário. (Foto: Heitor Florence/ Jessica Curado)



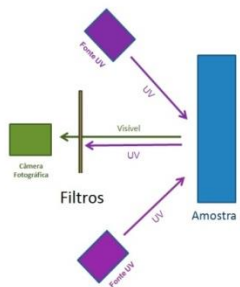
# TÉCNICAS ANALÍTICAS – IMAGEAMENTO

## Equipamentos

### Fotografia visível da Fluorescência de ultravioleta



Fluorescência com UV



A iluminação UV



causa processo de Fluorescência em alguns materiais.

Os pigmentos oxidam ao longo dos anos, → intervenções recentes, ficam evidenciados devido a não oxidação

As diferentes colorações devido a fluorescência



Podem auxiliar na caracterização de certos materiais e pigmentos

ajuda a identificar as área de intervenção, repinte, alterações, etc, na pintura



**PINACOTECA**  
do Estado de São Paulo

*imagem: F. P.  
O.V. Campos*

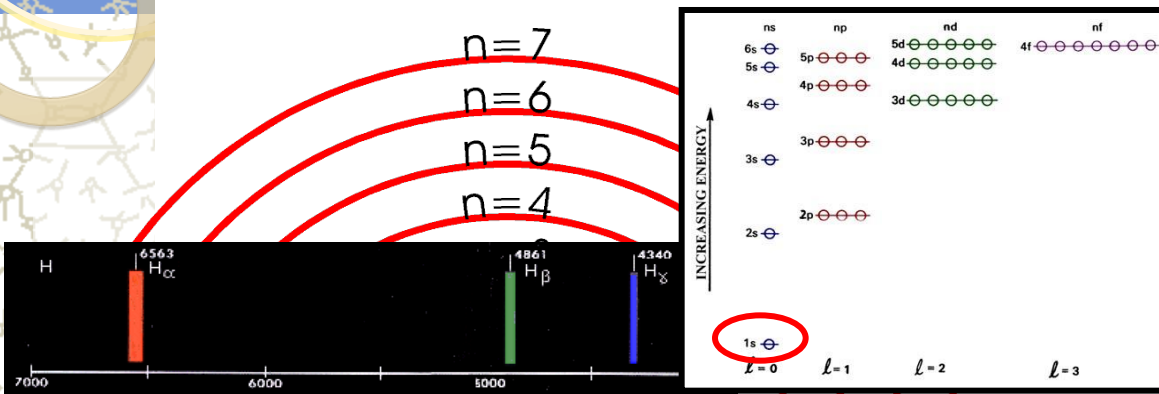
Pinacoteca do Estado de São Paulo  
Colaborador: Laboratório de Conservação e Restauro  
Valéria Mendonça



# O modelo planetário (1911)

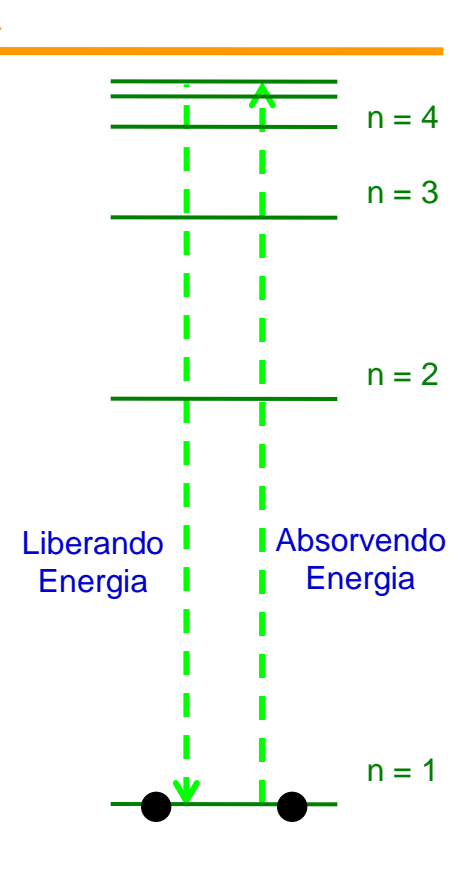
## O átomo de Bohr...

Diagrama de energia

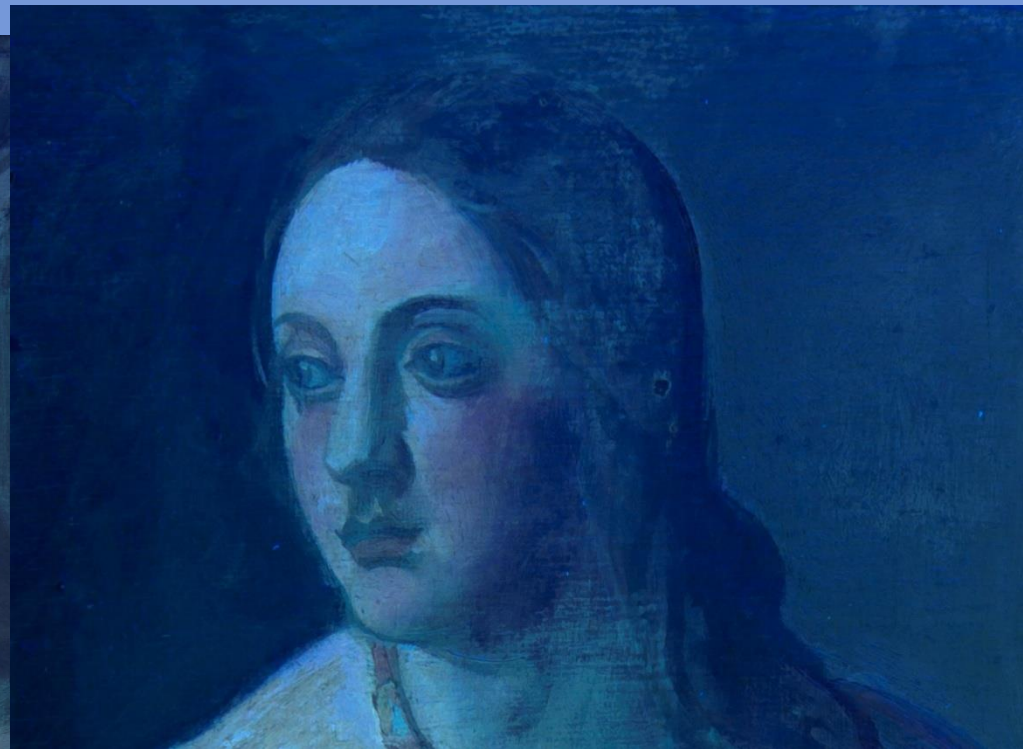


emite energia

absorve energia



# Fluorescência do Ultra Violeta



- UV (320 - 400 nm).

Achille Funi (1963)  
Pintor Italiano.

Museu de Arte Contemporânea –  
MAC/USP

E. Kajiya

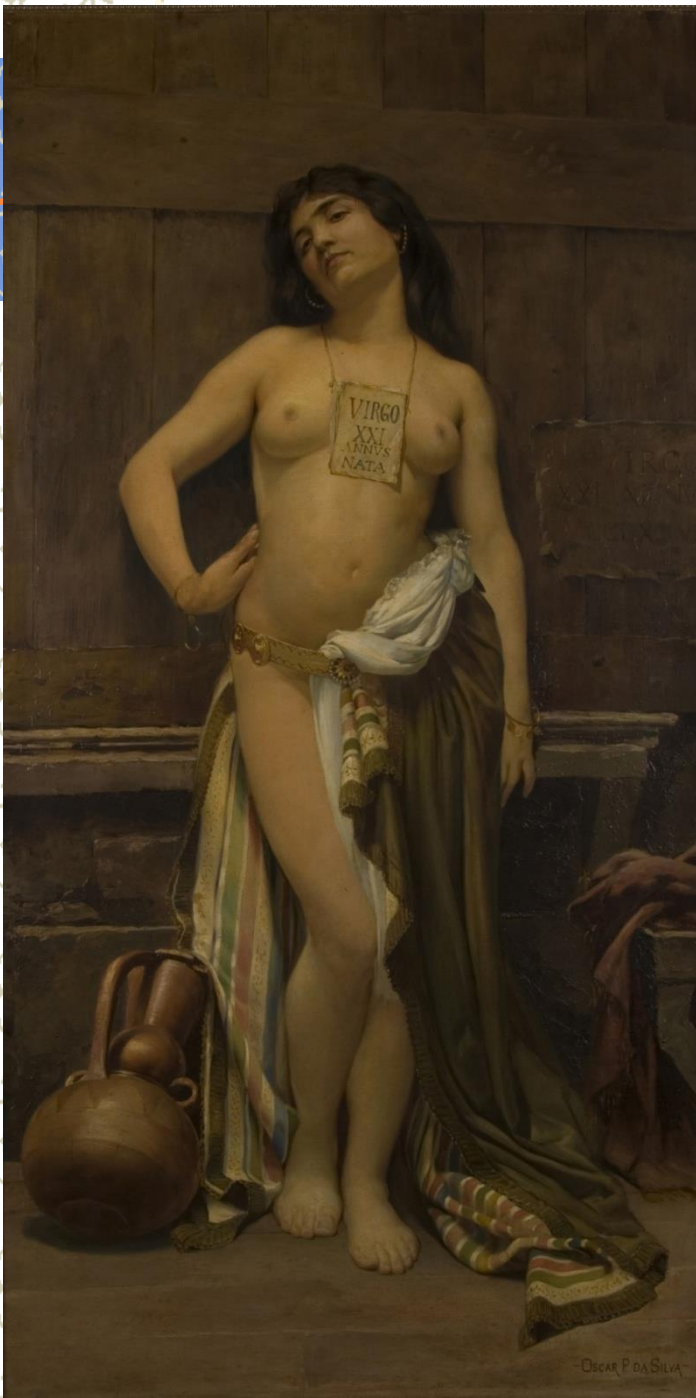


# Fluorescência do Ultra Violeta



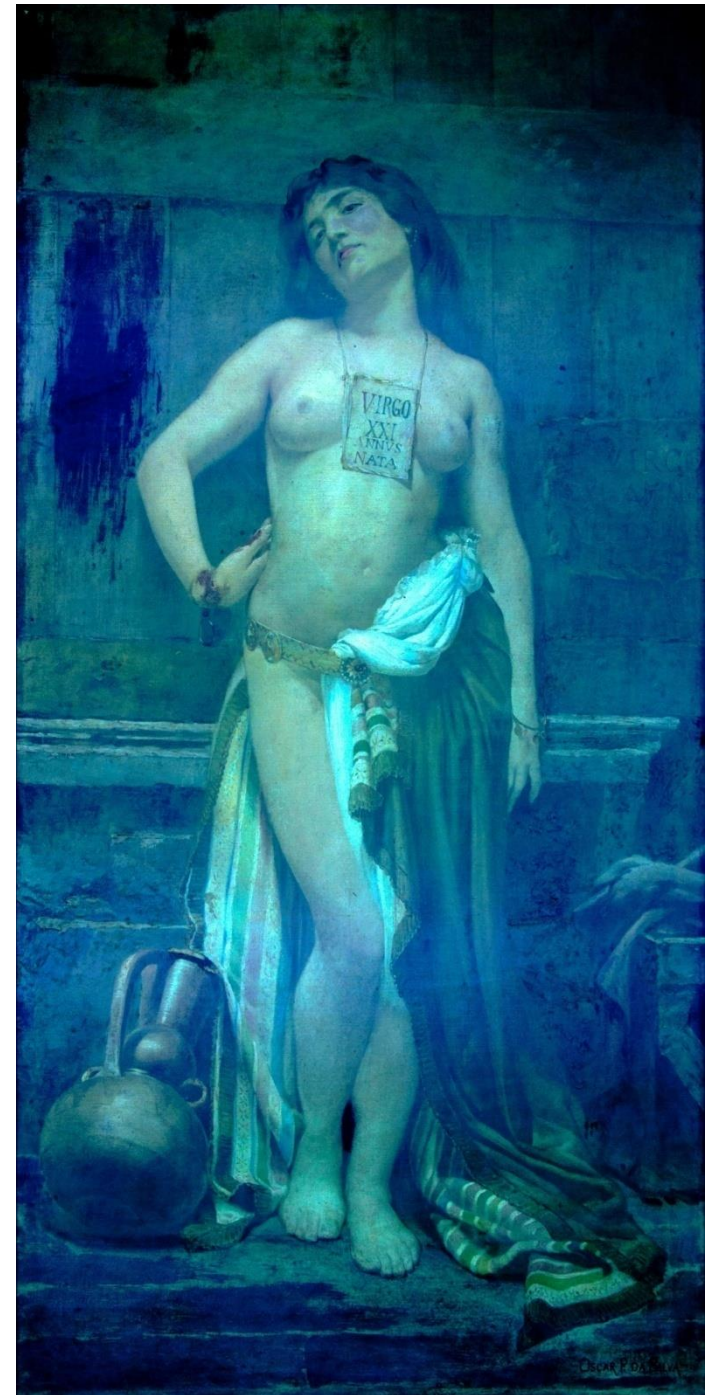
Fluorescência com radiação visível de ultravioleta:  
retoque no rosto da menina, é nítido o fenômeno de luminescência  
Criação da Vovó: Oscar Pereira da Silva, 1901

## Antes do Restauro



Fotografia com Luz  
Visível e  
Fluorescência de  
Ultravioleta.

Oscar Pereira da Silva,  
Pinacoteca do Estado de  
São Paulo

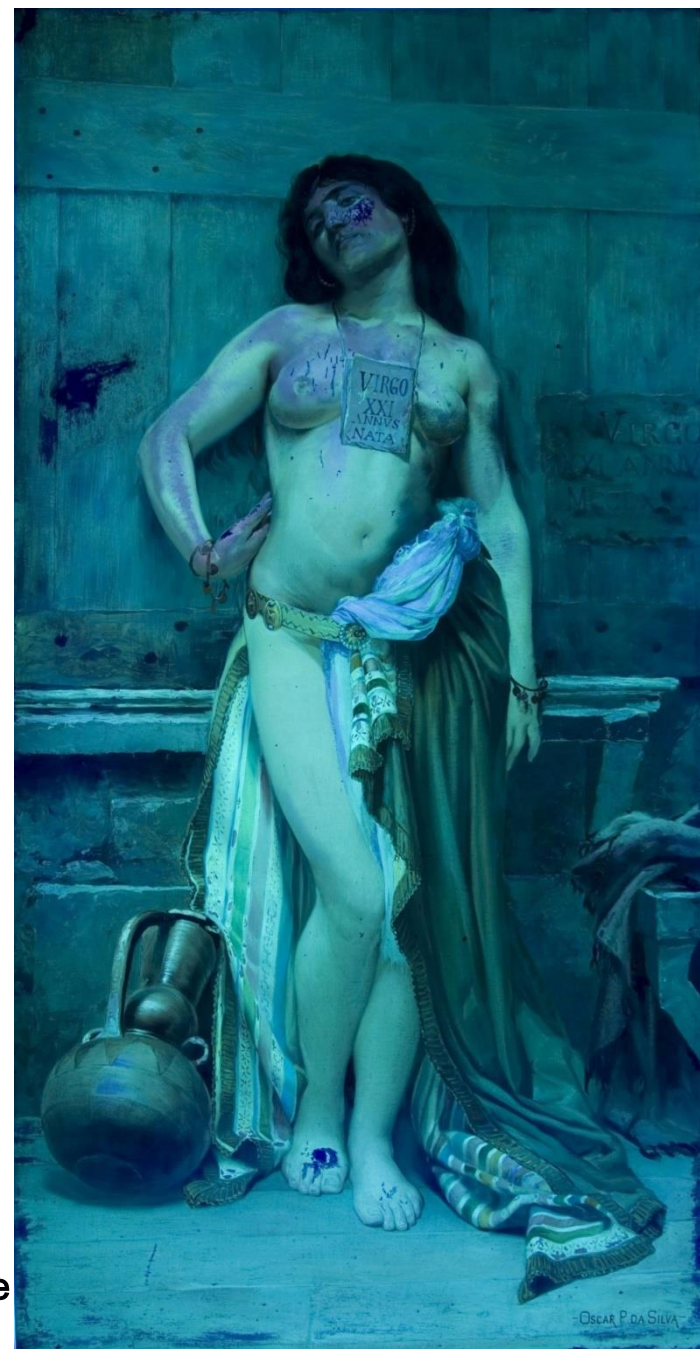


## Após o Restauro



Detalhe com UV,  
observa-se retoques  
e a fosforescência  
dos pigmentos e das  
área retocadas.

Oscar Pereira da Silva,  
Pinacoteca do Estado de  
São Paulo



# Fluorescência do Ultra Violeta



(a) Fotografia com luz visível após o restauro



(b) Fotografia com radiação UV da obra após restauro

Obra: "São Lucas  
escrevendo o  
evangelho"  
Autor: Desconhecido  
  
Pinacoteca do Estado de  
São Paulo

# Estátua Romana

Luz Visível



Ultravioleta



Jean-Claude  
Dran, Centre de  
recherche et de  
restauration des  
Musées, 2001



Jean-Claude Dran, Centre de  
recherche et de restauration des  
Musées, 2001

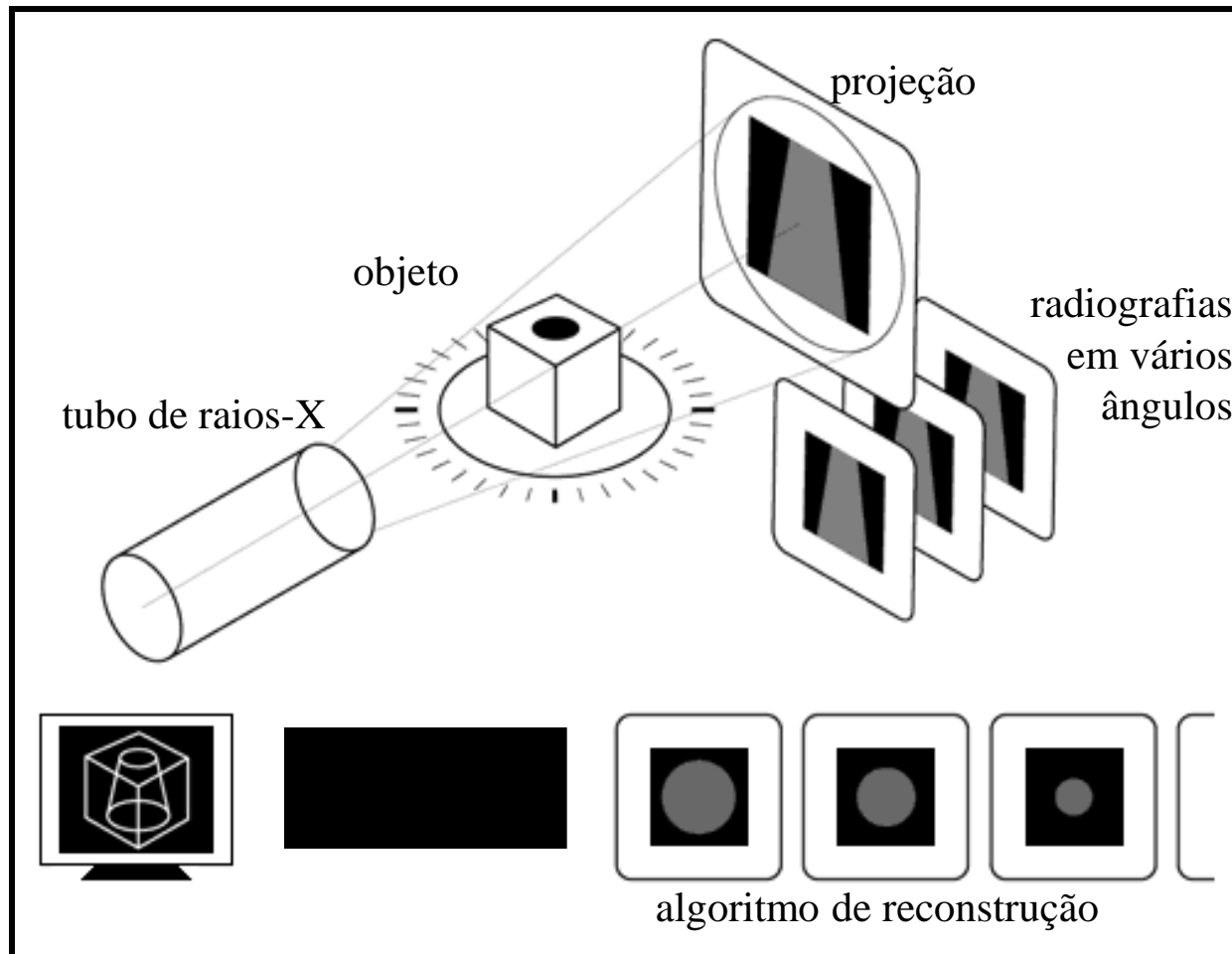
## Estátua Romana



# Radiografia

- ✦ A radiografia fundamenta-se nas diferenças de comportamento dos materiais ao serem atravessados pela radiação X. O grau de opacidade aos raios X depende da massa específica do material atravessado e da sua natureza química.
- Os raios-x que atravessam uma material impressionam a “chapa” e a enegrecem, os que são absorvidos deixam de contribuir para o tal enegrecimento, criando-se uma imagem definida por claros e escuros de diferentes tons

# Raios-X (radiografia - tomografia)



# Radiografia

## Laboratório de Dosimetria (IFUSP)

Martha A Aldred (IF/USP)



# Estúdio de Radiografia Dedicado à Arqueometria

## C2RMF



Jean-Claude Dran,  
Centre de recherche  
et de restauration  
des Musées, 2001

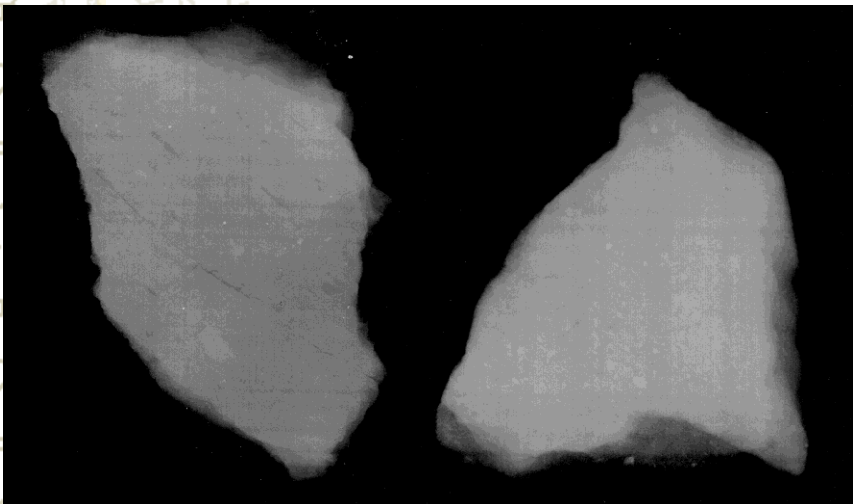
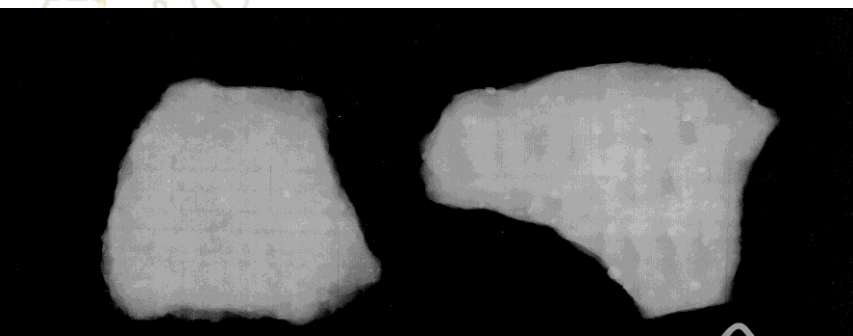
# Radiografia

peça encontrada, pela marinha, no fundo do mar com uma massa de argila ao redor

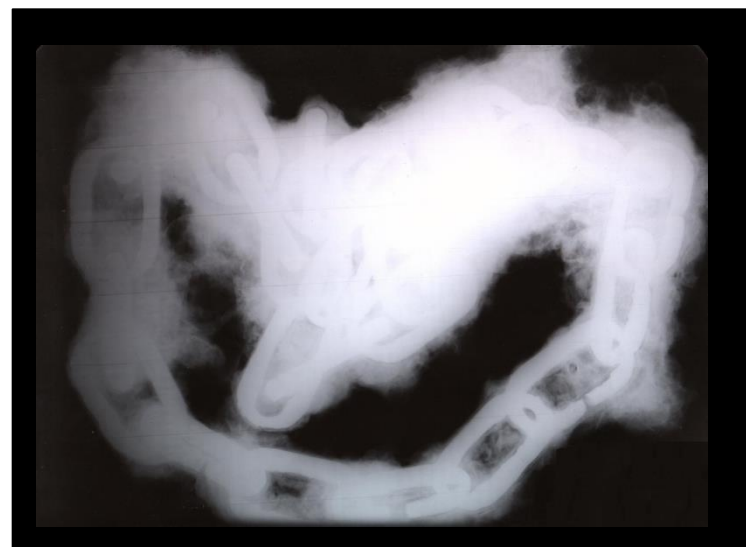
R. S. Guimarães – Marinha –MAE/USP

## Transmissão de raios-X

Peças cerâmicas–MAE/USP



50 kV – 15 mA – 5 min



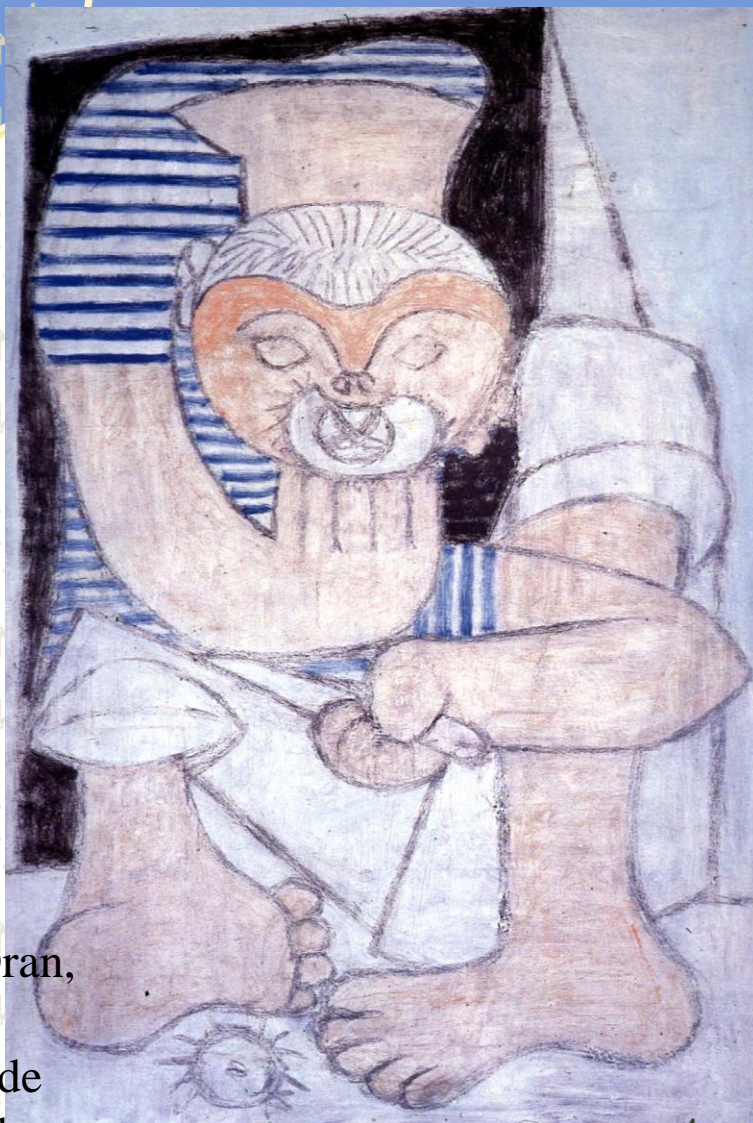
120 kV – 10 mA – 5 min

# Radiografia



Escultura policromada,  
encolada, estrutura de  
madeira e ferro- coleção  
particular

# Radiografia de uma pintura do Picasso



Jean-Claude Dran,  
Centre de  
recherche et de  
restauration des  
Musées, 2001



# Radiografia



Mudança de  
imagem



Obra: São Lucas escrevendo o evangelho  
Autor: desconhecido  
PINACOTECA DO ESTADO DE SÃO PAULO

# Radiografia



Detalhes da saia  
com melhor  
visualização que  
na pintura

# Radiografia



Coroação de Nossa Senhora séc. XVII , coleção particular

# Análise do acervo do palácio do governo do estado de São Paulo - 66 pinturas de cavalete do Peru -

## Coleção Pré-Hispânica

O anjo - Artista desconhecido - sec. XVIII

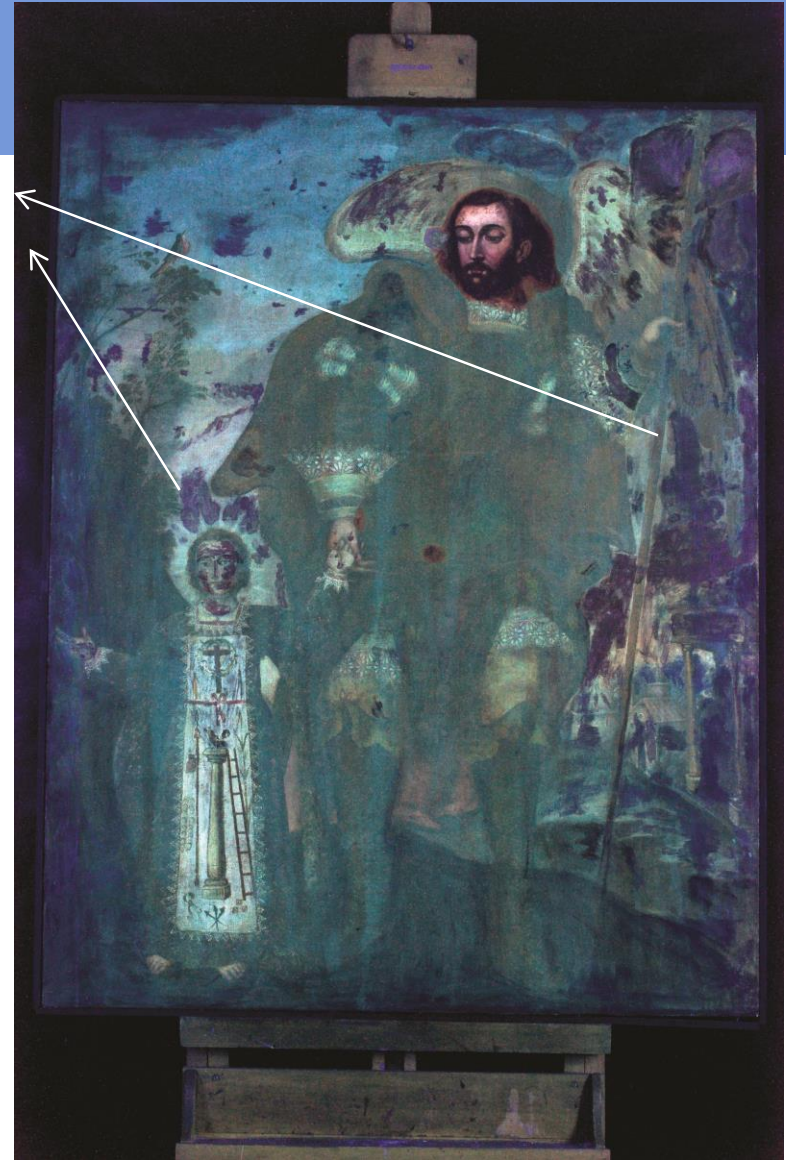
Pontos Restaurados



Luz Visível

IR

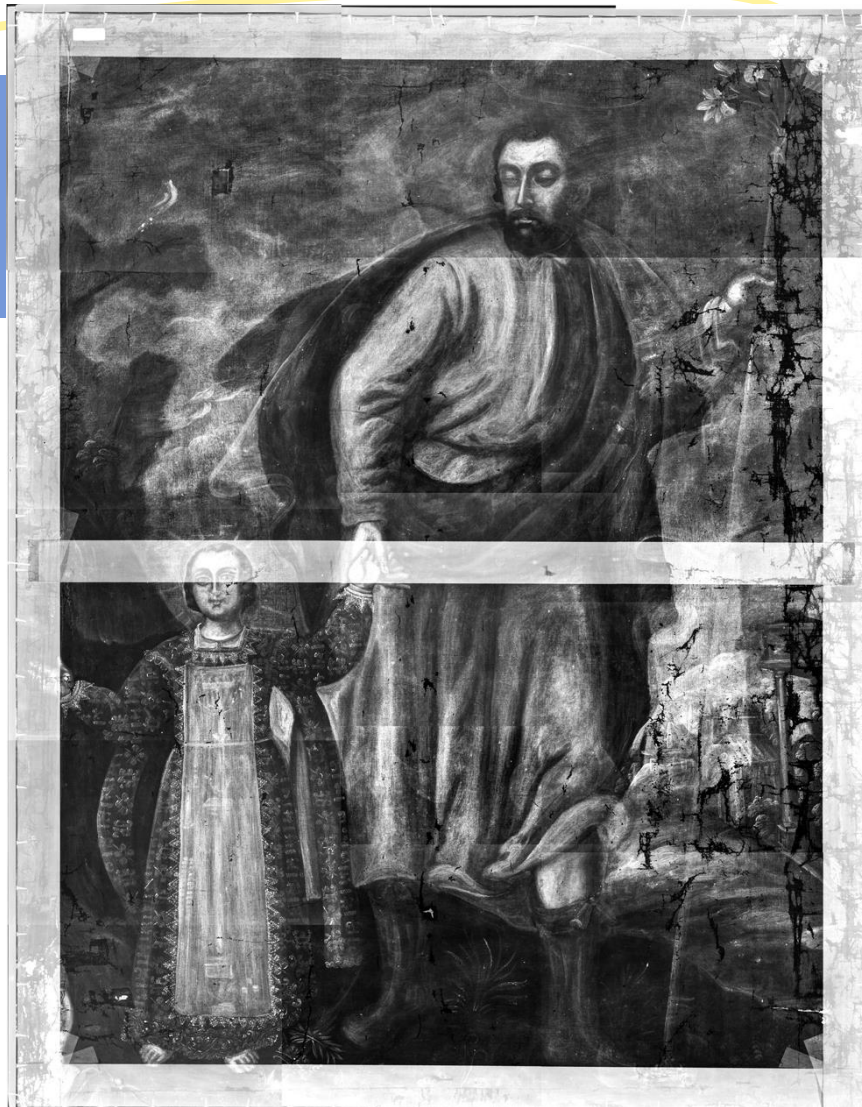
Foto: E. M. Kaiya



Luz (UV fluorescência)



Foto: E. M. Kajiya



As roupas eram completamente diferentes e não existiam as asas



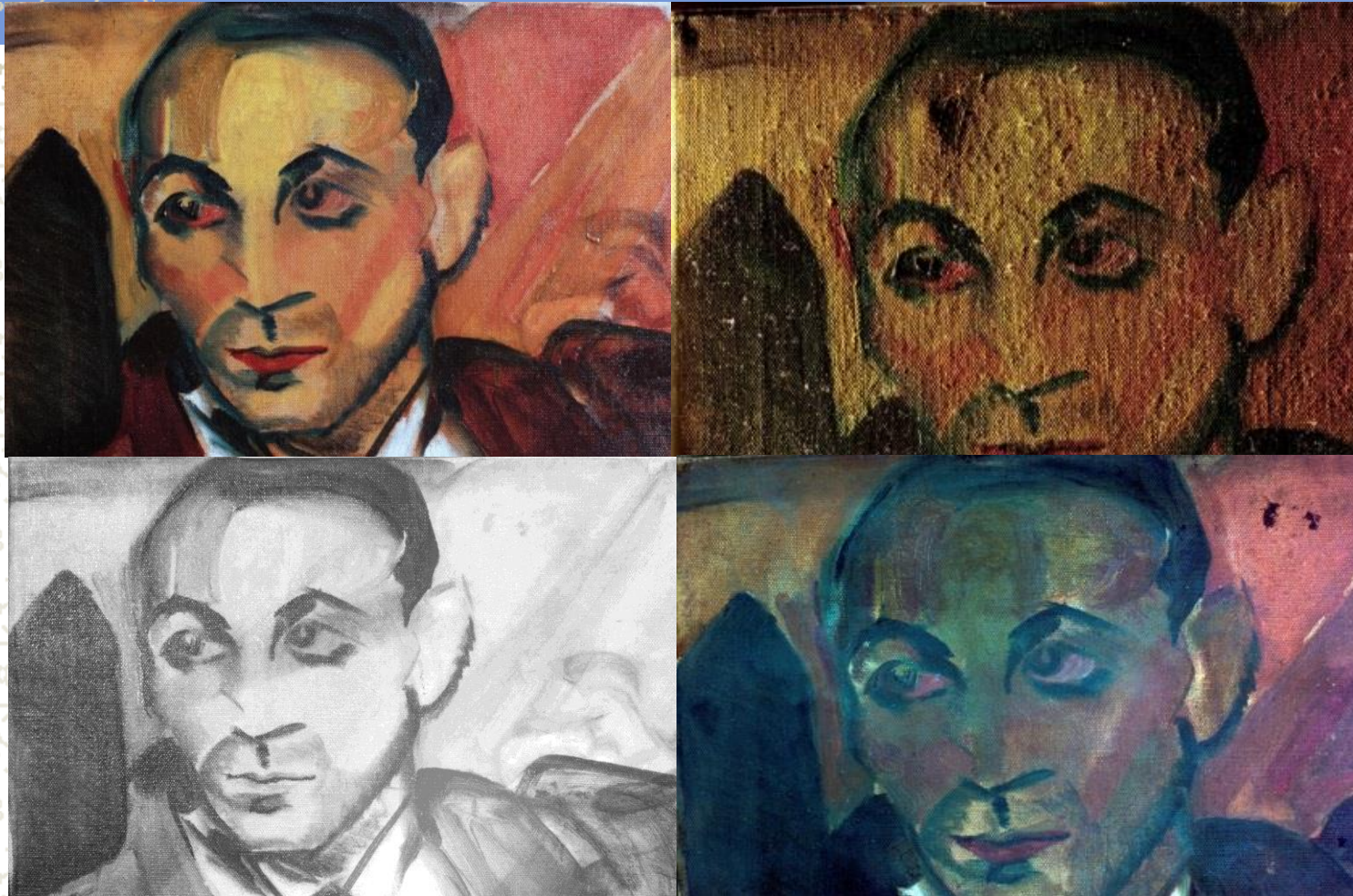
“Homem Amarelo” - Anita Malfatti  
(1915/1916, óleo sobre tela, 61x51cm)  
acervo do IEB-USP

Instituto de  
Estudos Brasileiros



“Homem Amarelo” - Anita Mafatti  
(1915/1916, óleo sobre tela, 61x51cm)  
acervo do IEB-USP

Instituto de  
Estudos Brasileiros



Tese doutorado: Pedro H.V.O. Campos – IF-USP

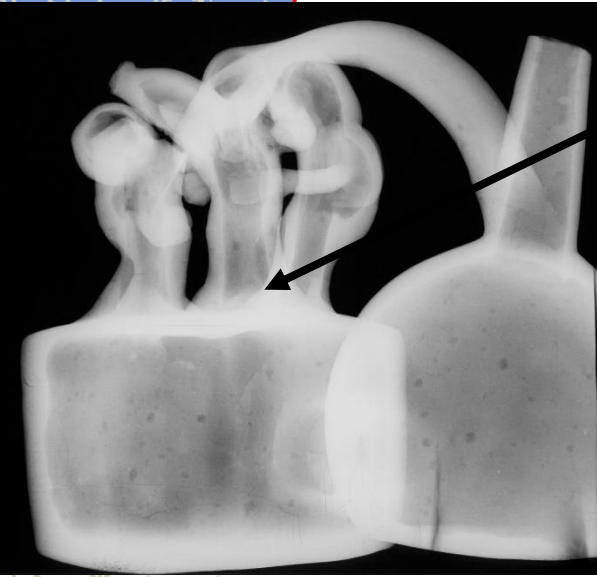
**Ceramicas Chimu**  
**Museu de Arqueologia e Etnologia**  
**MAE – USP**





Radiografia mostra as heterogeneidades microscópicas e o modo de união entre as peças - Tese doutorado Silvia C. Lima – MAE/USP

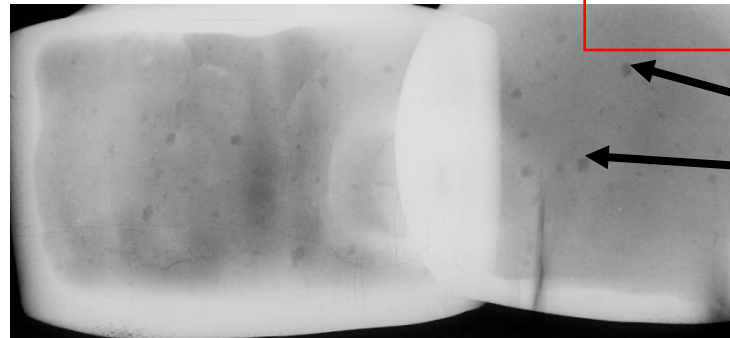
3625



Composição das pelas  
com decorações  
complexas

50kV, 14mA, 8min

RX – Philips MG450 tubo  
V 10 – 420kV and i 0-15mA  
*Radiografia comum com filme  
IBF(AGFA)*

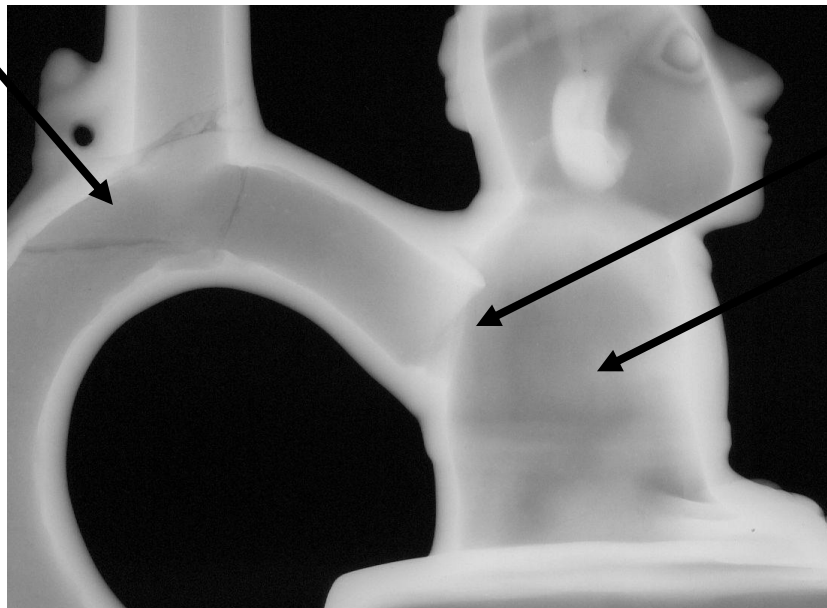
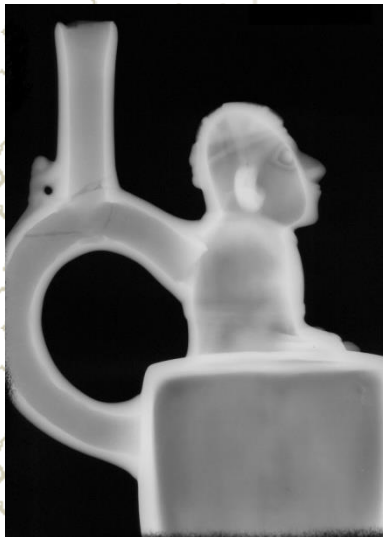


Forma Circular dos  
temperos com baixa  
densidade

quebras

Inserção da alça à  
figura do corpo

3601

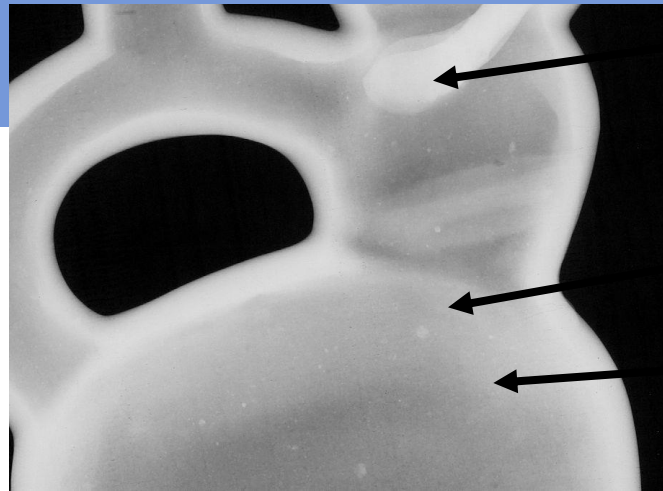


Granularidade muito  
fina

**A cultura Chimú introduziu (ou  
especializou) o uso de moldes  
verticais com montagens entre os  
corpos e pescoços das peças**

Radiografia mostra as heterogeneidades microscópicas e o modo de união entre as peças - Silvia C. Lima – MAE/USP

3627



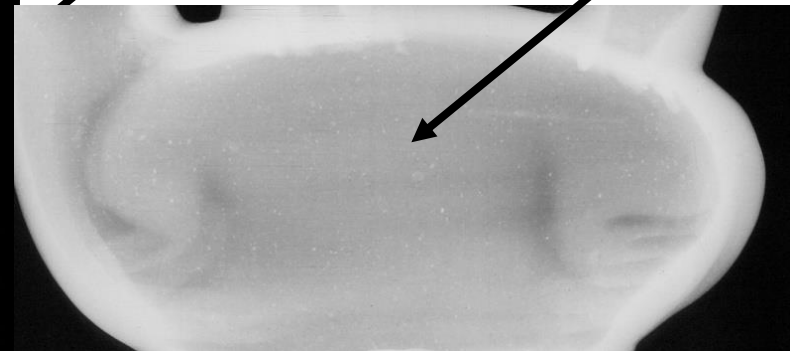
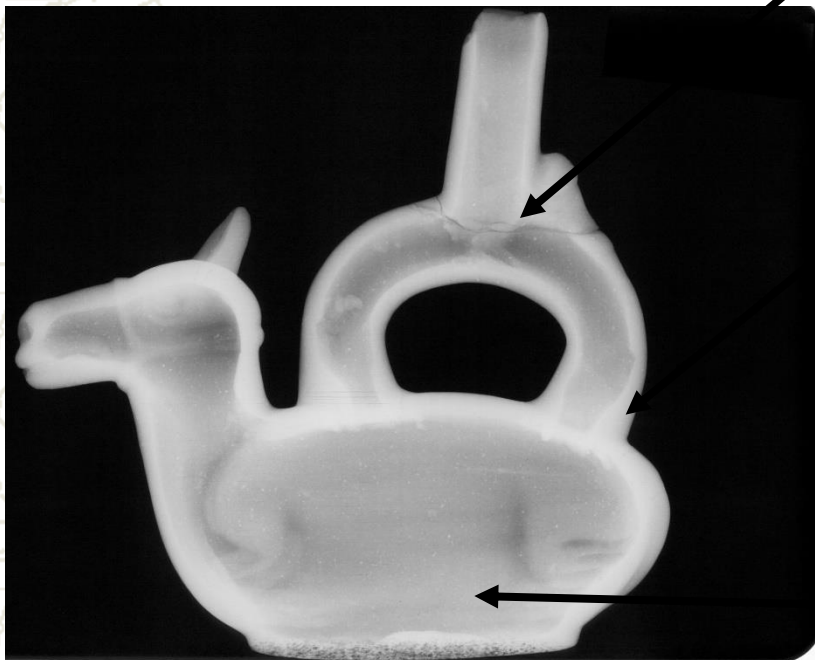
Objetos moldados em duas partes  
Braços foram anexados

Temperos com formato circular  
dimensões variáveis

Parte de sopro quebrada internamente

Granularidade fina temperos com alta densidade

3631



Supro anexado a parte inferior

Montada em um único molde

# Radiografia

Manufatura em cerâmica

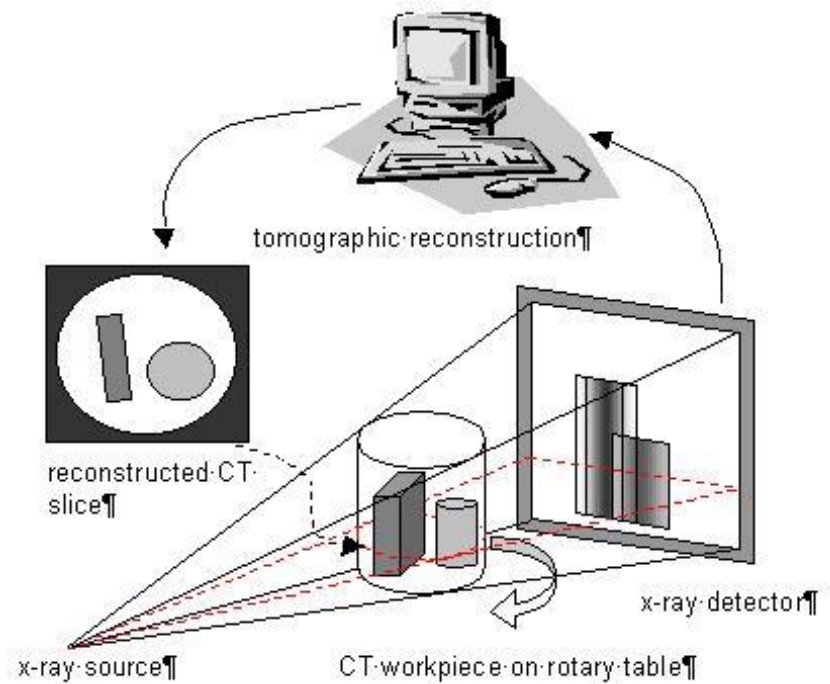
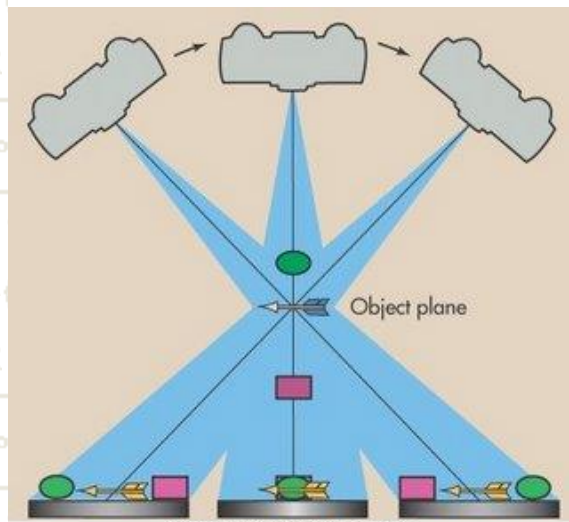
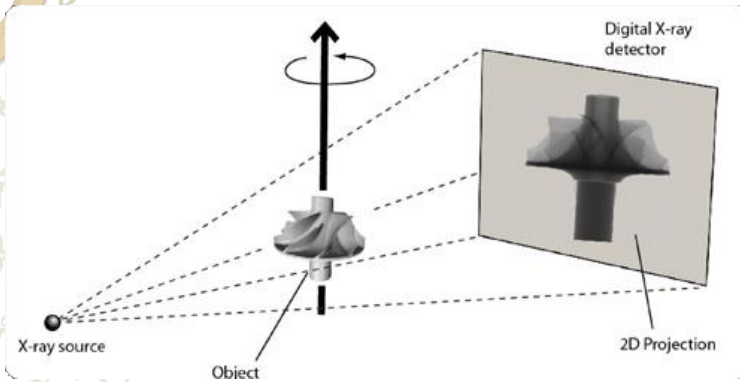


# Raios-X (acelerador)

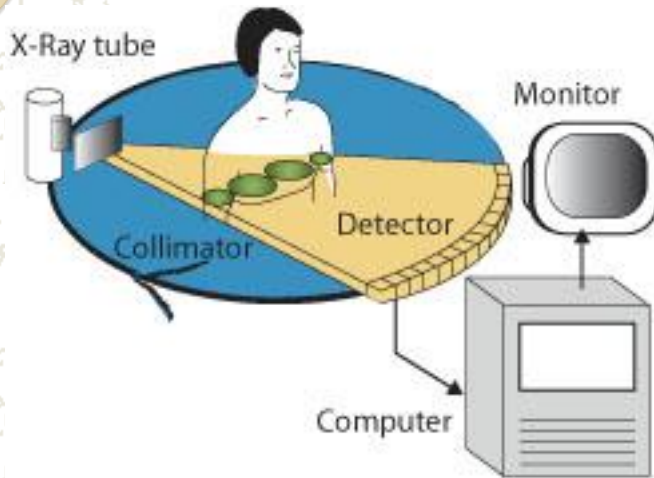


Bruxelas, 30 julho de 2008 - Uma equipe de pesquisadores da Holanda e da Bélgica reconstruiu com exatidão sem precedentes uma pintura oculta sob a obra "Patch of Grass" (1887), do holandês Vincent Van Gogh, por meio do uso de uma nova técnica que emprega raios X aplicados com um acelerador de partículas (revista o globo)

# Tomografia



# Tomografia



**DATA ACQUISITION SYSTEM**  
continuous acquisition of CT data  
up to 140 levels in 15 seconds

**ELECTRON GUN**  
permits 640 mA of x-ray power  
for fast, low-noise studies

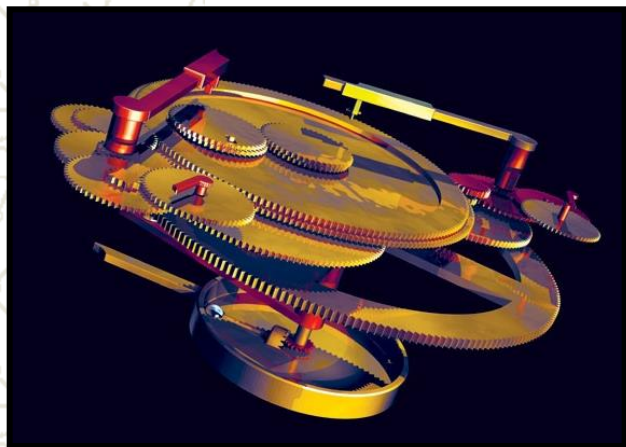
**TARGET-RING**  
comprised of multiple targets for optimal  
single-slice or multi-slice scanning modes

**PRECISE, HIGH-SPEED  
COUCH MOTION**  
makes continuous volume  
scanning possible

**ELECTRON BEAM**  
allows millisecond  
scanning

**SELF-CONTAINED  
INTERNAL COOLING SYSTEM**  
eliminates interscan delay, permits  
higher throughput, longer volume studies

# Raios X - Tomografia



Antikythera. Calendário astronômico em bronze. Grécia 100AC, recuperado de um barco grego naufragado. Nature 444, 534-538, 2006.

# Tomografia





MAE



# Monumento do Ipiranga e os trabalhos arqueológicos



Dissertação de Mestrado MAE-USP:  
Valdirene Ambiel





# A primeira Imperatriz

Leopoldina Habsburgo-Lorena

1797 (Vienna) - 1826 (RJ-Brazil) (29 anos)

Nariz em bom estado  
de conservação



Alta quantidade de  
cal por todo o  
corpo

Dissertação de Mestrado  
MAE-USP:  
Valdirene Ambiel

MAE



Tomografia D. Leopoldina

USP

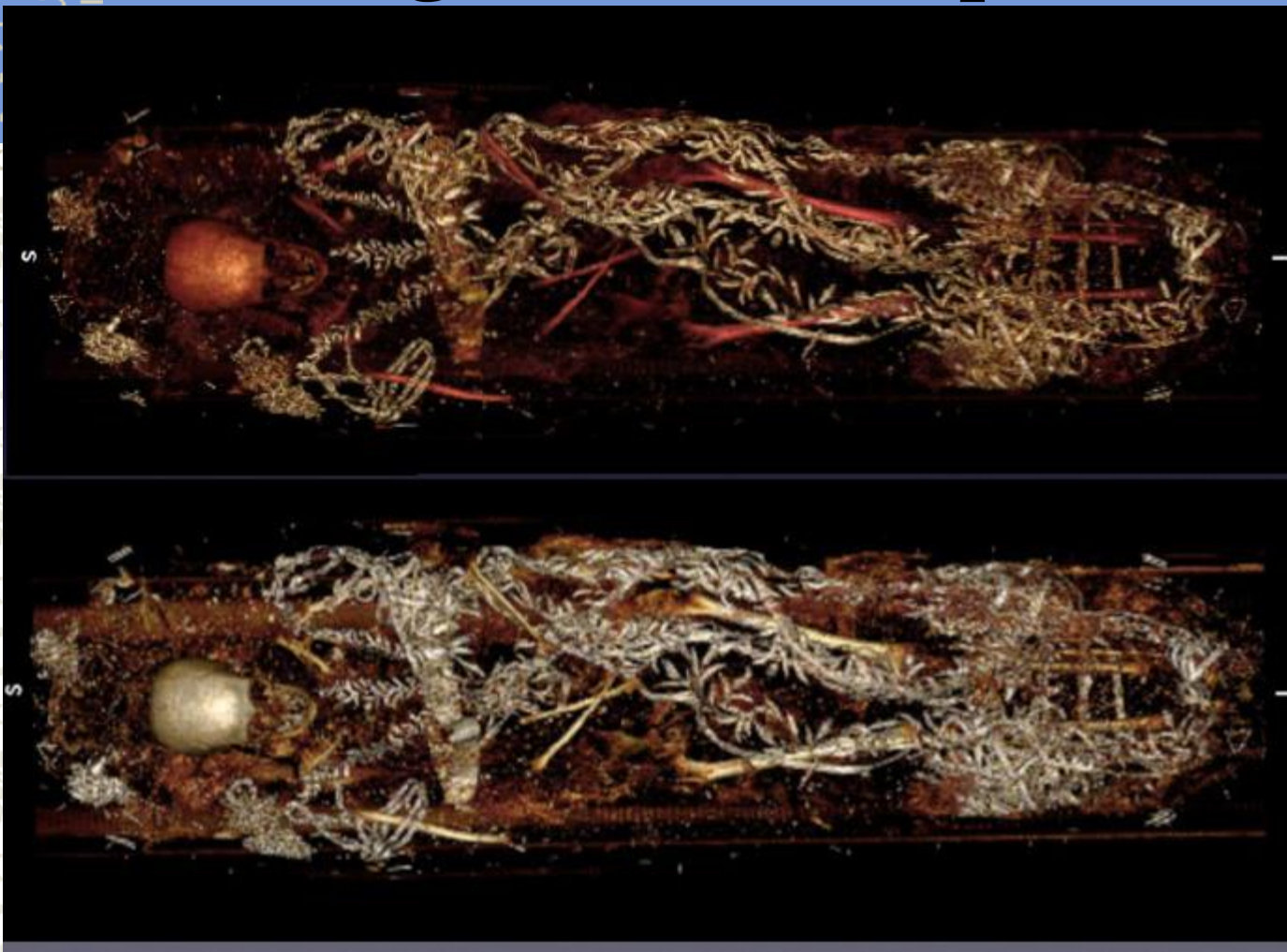
# Primeiros imperadores do Brasil!

*Márcia A. Rizzutto* –  
V.C. Ambiel -  
vambiel@gmail.com

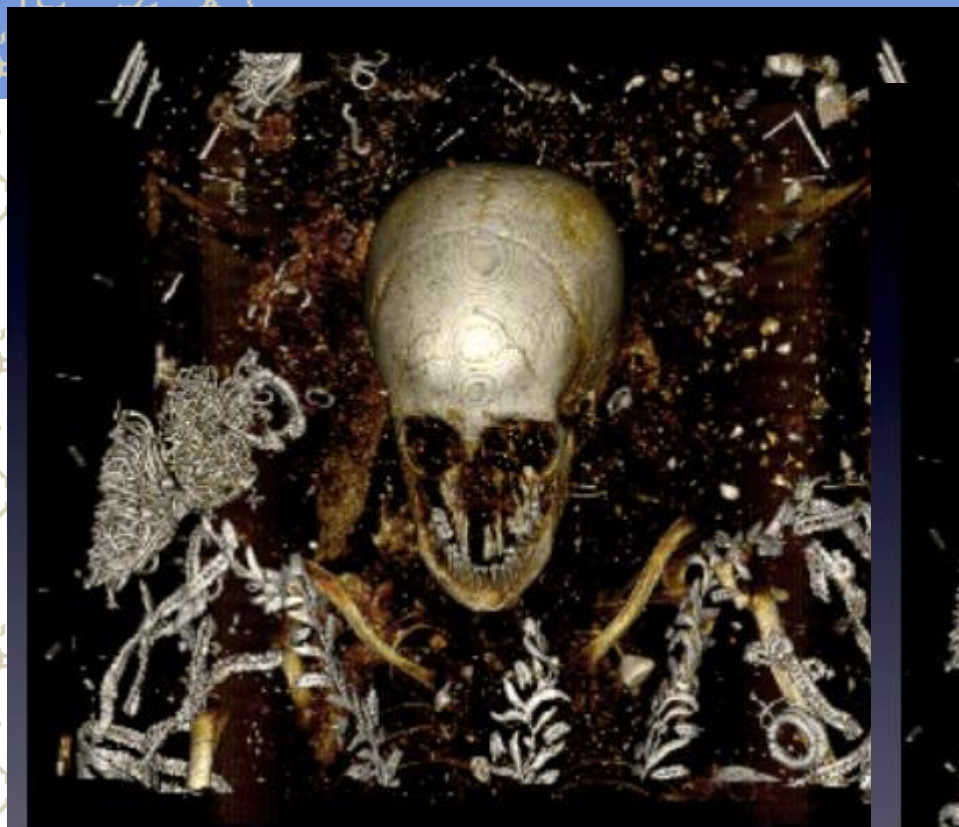
J. F. Curado, P.H.O.V.  
Campos, E.A.M. Kajiya,  
V.D. Muniz



*Faculdade de Medicine da USP - Profs. Dr. Paulo H. Saldiva, Prof. Dr. Carlos Pasqualucci, Prof. Dr. Edson Amaro Jr.*



Faculdade de Medicina USP - Profs. Dr. Paulo H. Saldiva,  
Dr. Carlos Pasqualucci, Prof. Dr. Edson Amaro Jr.



Faculdade de Medicina USP - Profs. Dr. Paulo H. Saldiva,  
Prof. Dr. Carlos Pasqualucci, Prof. Dr. Edson Amaro Jr.