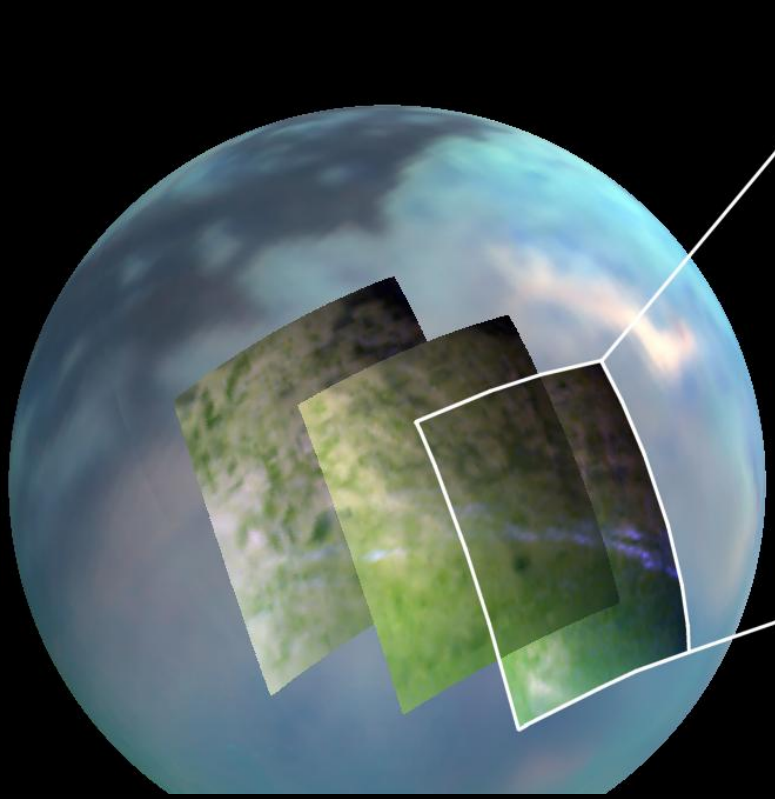
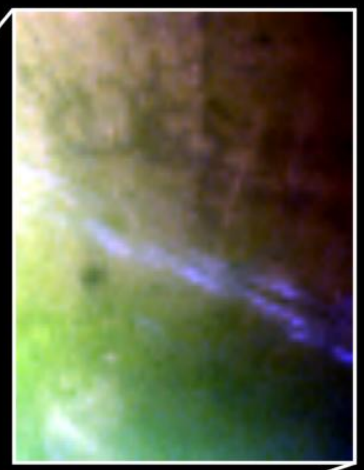
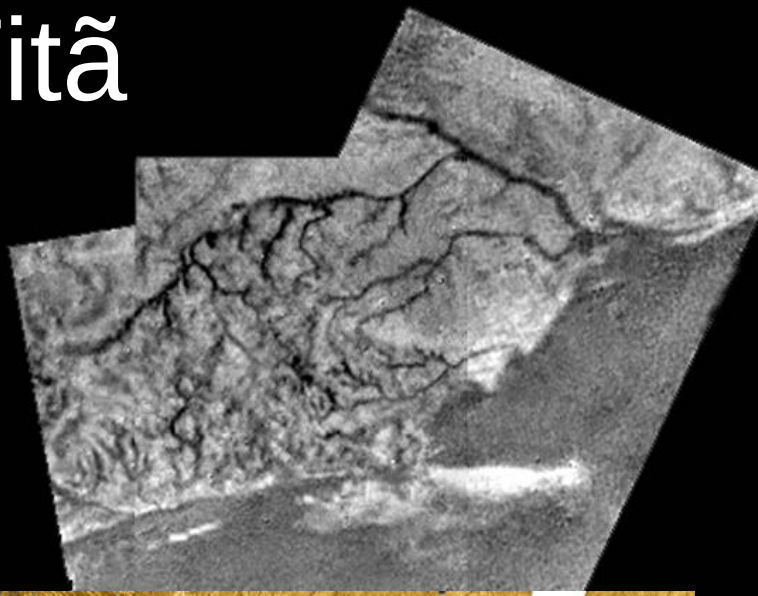
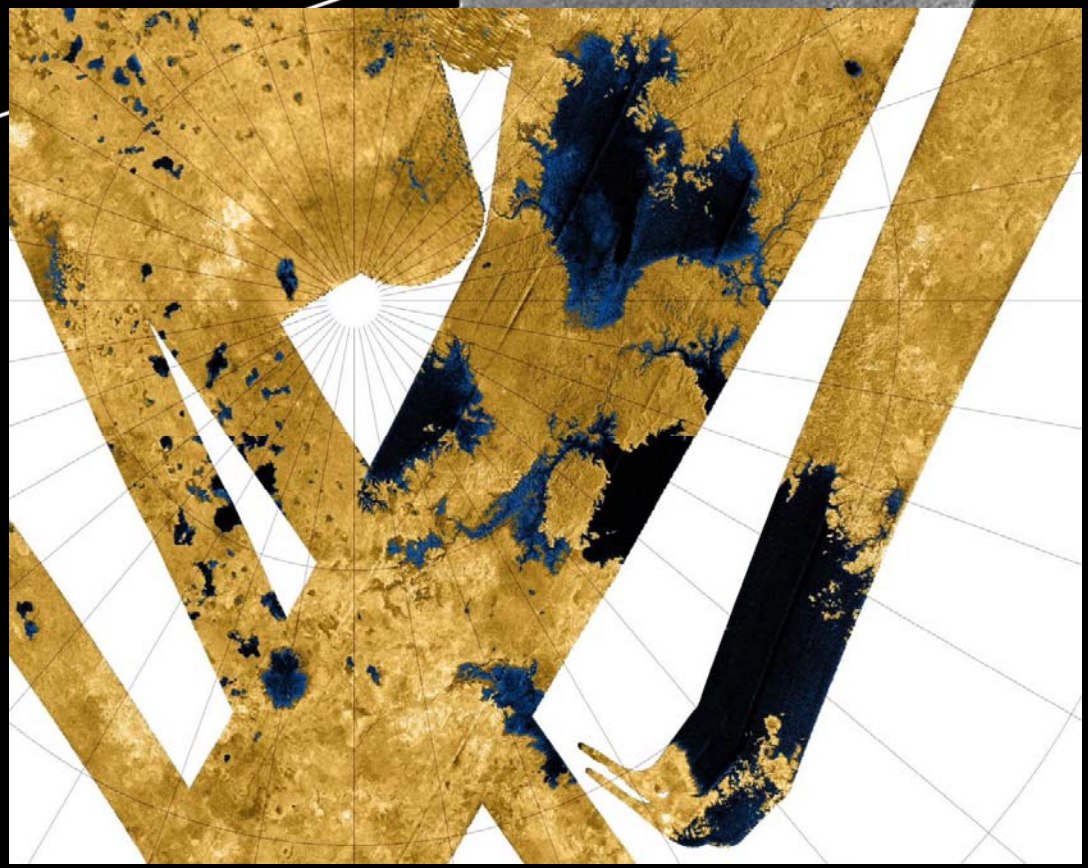
Observando Titã









Paulo Penteado
IAG/USP

http://www.ppenteado.net/ast/sem_val_201006.pdf

Panorama

Titã – o satélite com clima

Observações da atmosfera

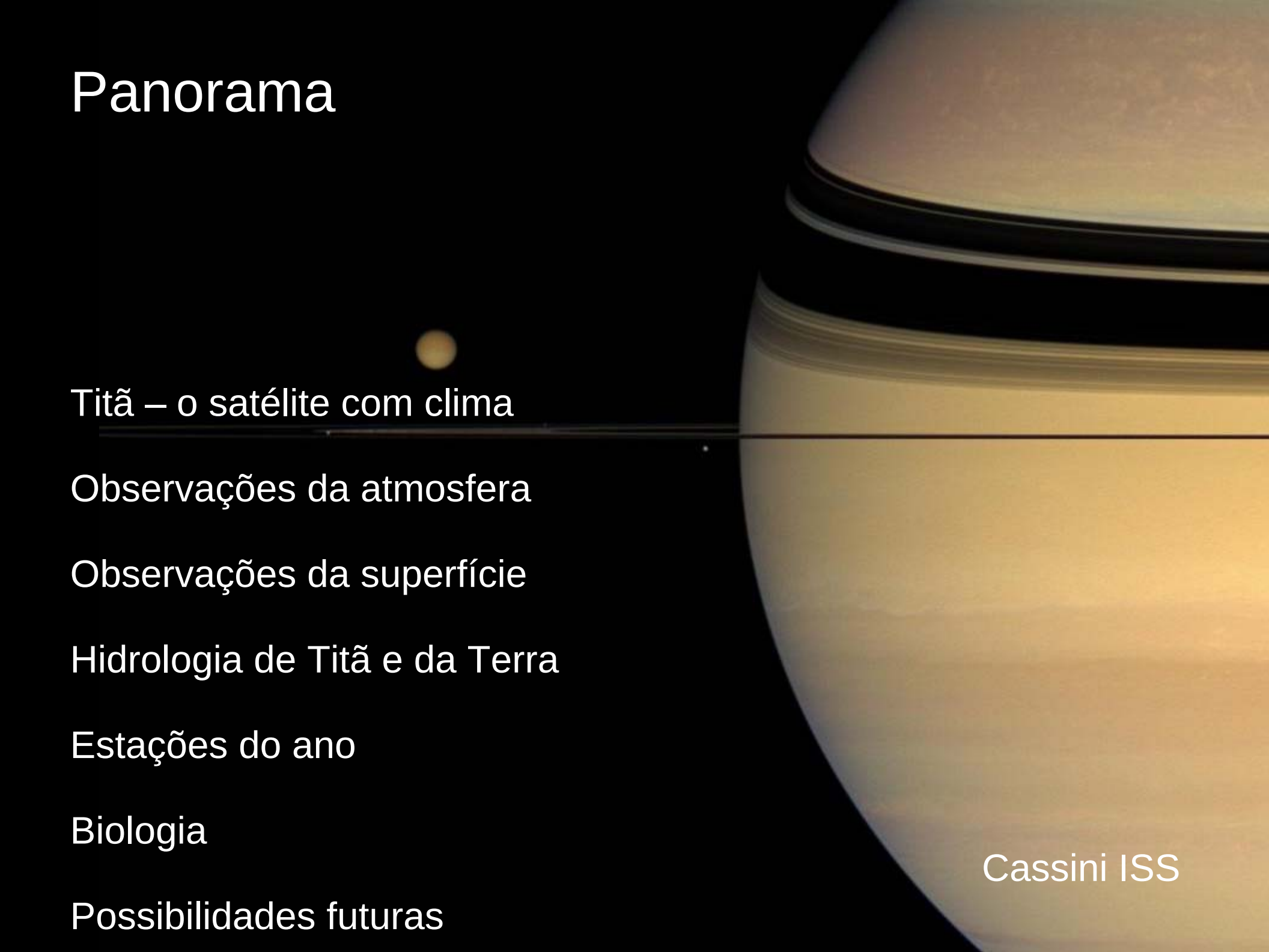
Observações da superfície

Hidrologia de Titã e da Terra

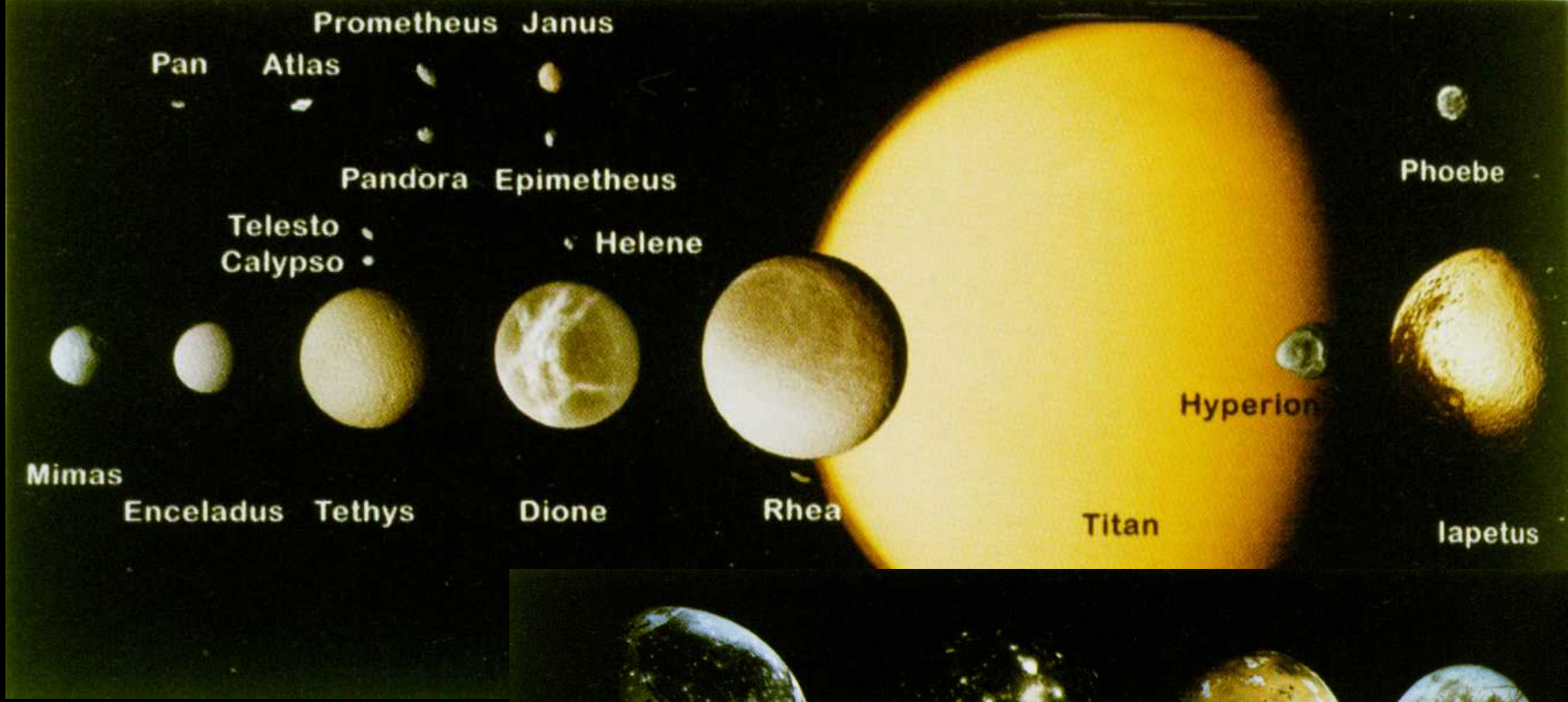
Estações do ano

Biologia

Possibilidades futuras

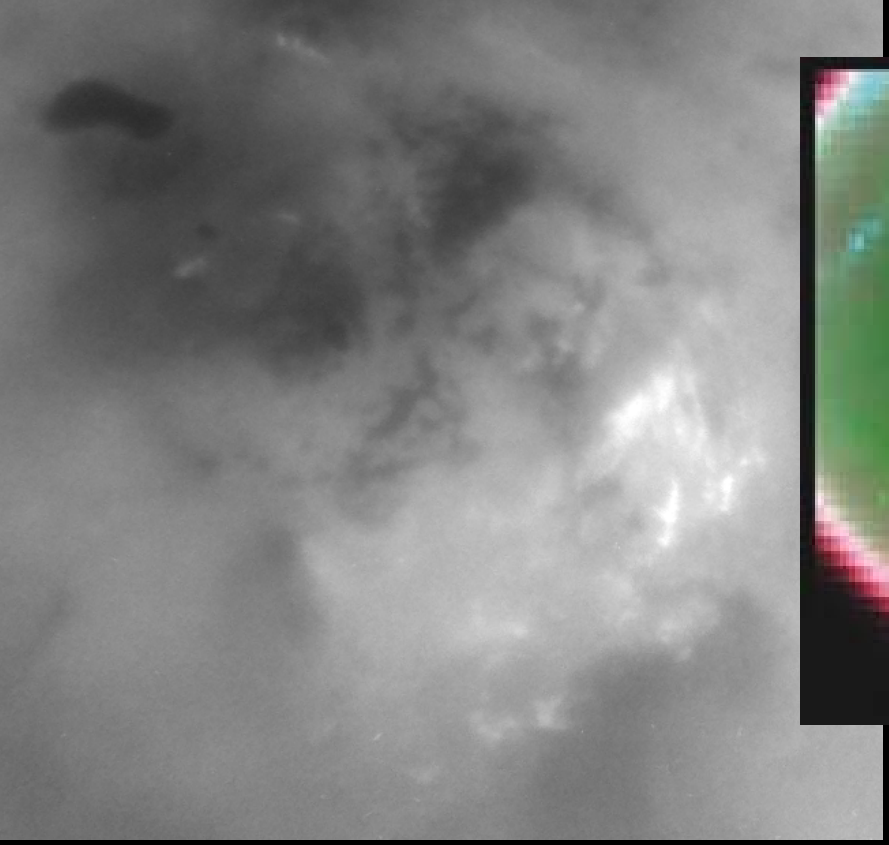


Cassini ISS



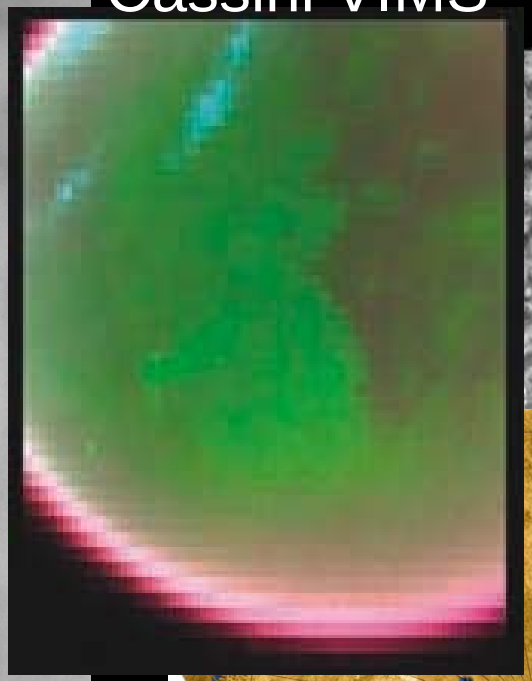
O único satélite com atmosfera densa

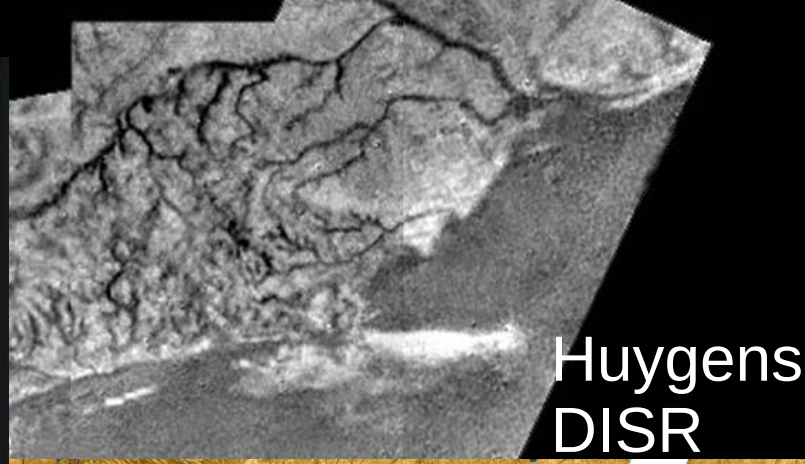
1.5 atm de N_2 na superfície



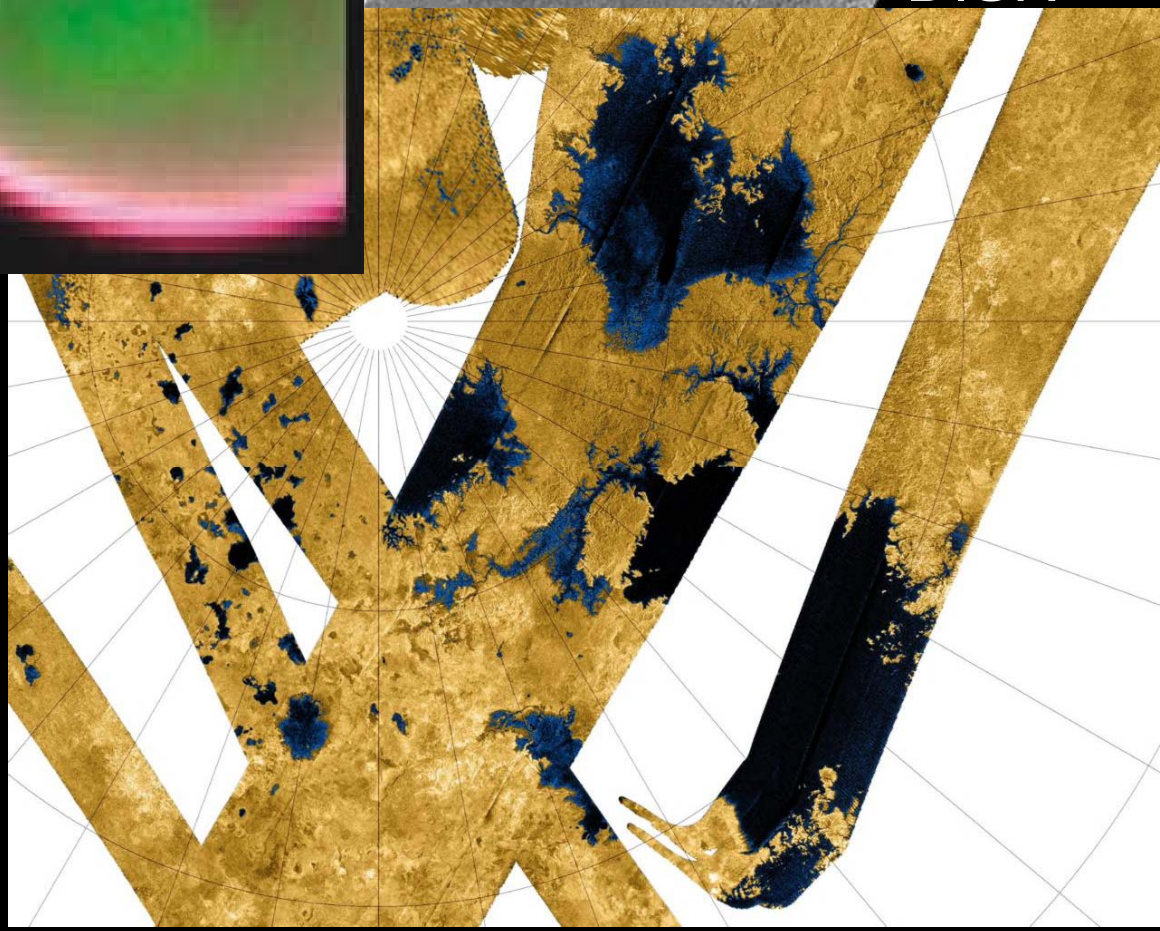
Cassini ISS

Cassini VIMS





Huygens DISR



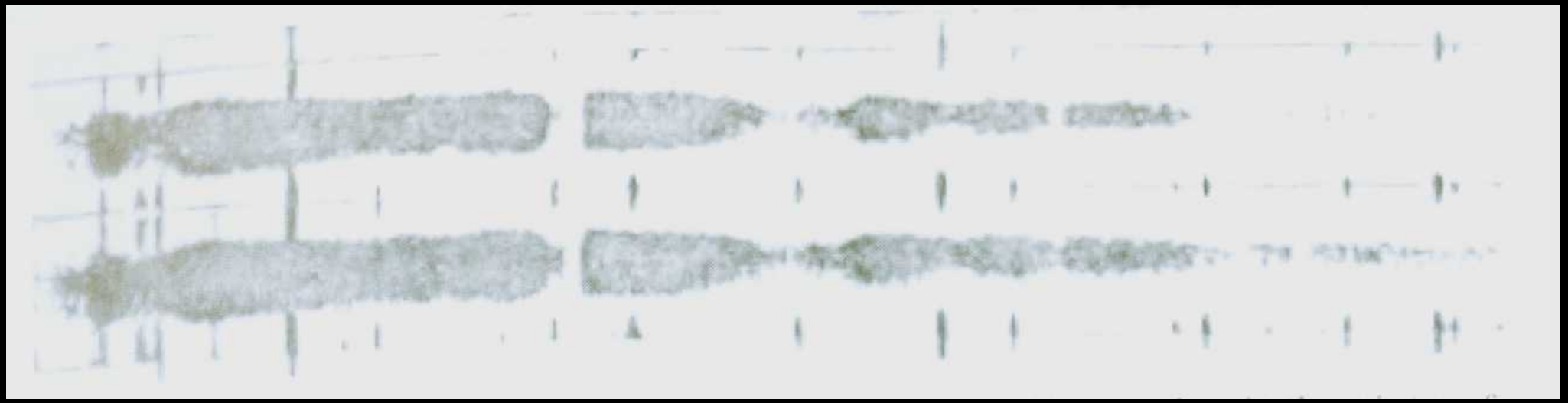
Cassini RADAR

Metano (CH_4) com um ciclo hidrológico semelhante ao da água na Terra

Nuvens variáveis, lagos e sinais de erosão fluvial

Observações da atmosfera

Detectada pela absorção do metano (Kuiper 1944)



H_2 detectado em espectros → necessário um componente mais denso

Espectros Voyager (1980/1981) em UV: N_2 é o principal componente da atmosfera

Observações da atmosfera

Imagens Voyager mostram névoa opaca no visível em todo o disco

Superfície permaneceu desconhecida na época

Névoa com variação espacial e sazonal

Observações da atmosfera

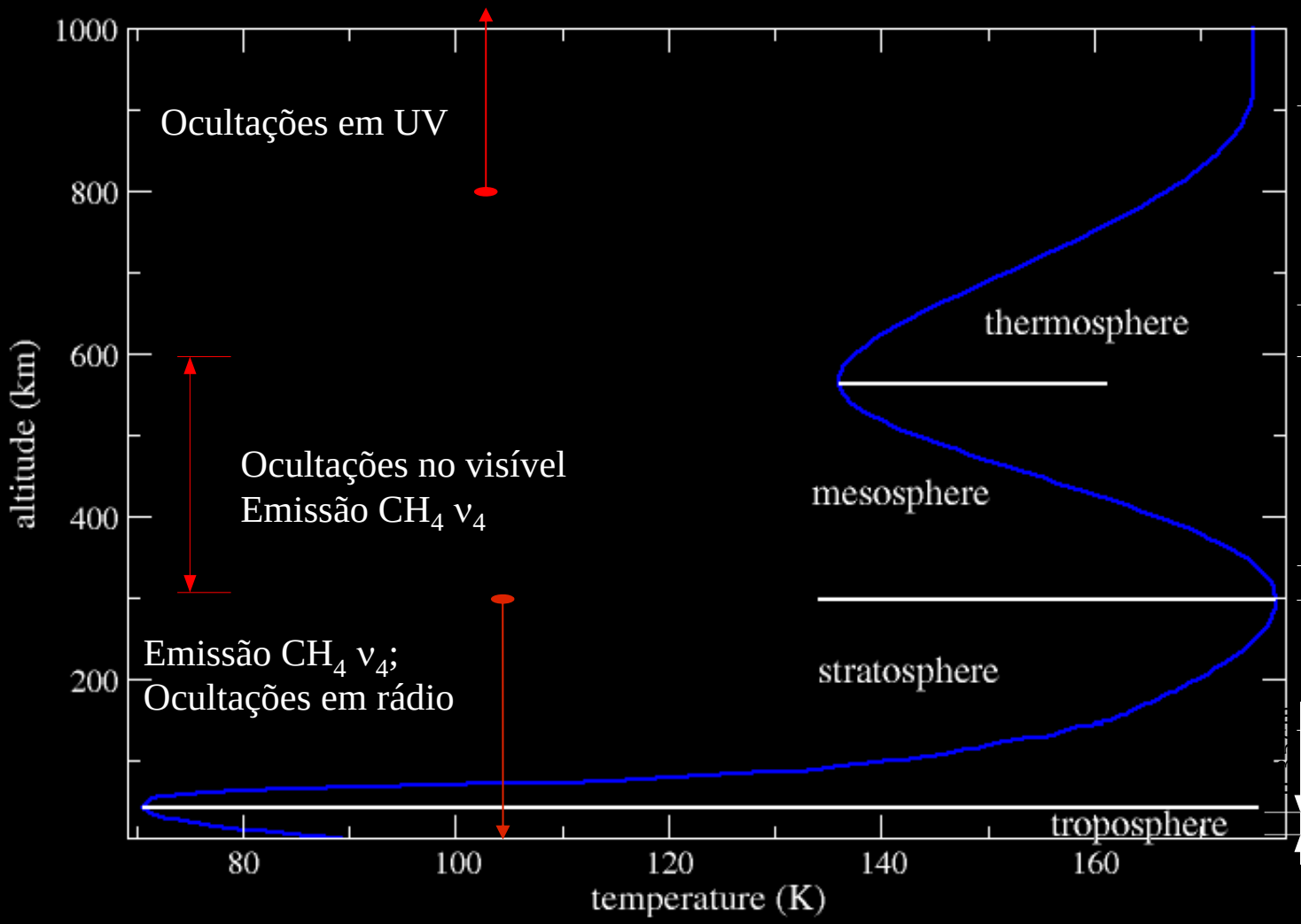
Composta de N_2 (95%) e CH_4 ($4.9^{+1.5}_{-1.0}$%)

CH_4 e N_2 fotodissociados na estratosfera:

- Produtos formam hidrocarbonetos pesados e nitrilas
- Condensação forma polímeros fractais de ~0.05 μm
- Partículas crescem até chegar à superfície
- Fotodissociação consome o CH_4 atual em 10^7 anos.
- Fonte na superfície necessária para repor o CH_4

Cassini ISS

Estrutura atmosférica



Absorção EUV

Resfriamento por emissão do C_2H_6

Aquecimento por absorção pela névoa e CH_4

Aquecimento por absorção na superfície e baixa atmosfera.

Griffith, Penteado *et. al.*, 2005

Composição atmosférica

nitrogênio	N_2	95%
metano	CH_4	5%
hidrogênio	H_2	0,20%
etano	C_2H_6	10ppm
monóxido de carbono	CO	~10ppm
acetileno	C_2H_2	2ppm
propano	C_3H_8	500ppb
cianeto de hidrogênio	HCN	170ppb
etileno	C_2H_4	100ppb
acetonitrila	CH_3CN	5ppb
dióxido de carbono	CO_2	10ppb
cianoacetileno	HC_3N	10ppb
metilacetileno	CH_3C_2H	5ppb
cianogênio	C_2N_2	5ppb
vapor de água	H_2O	8ppb
diacetileno	C_4H_2	1ppb

Cassini ISS

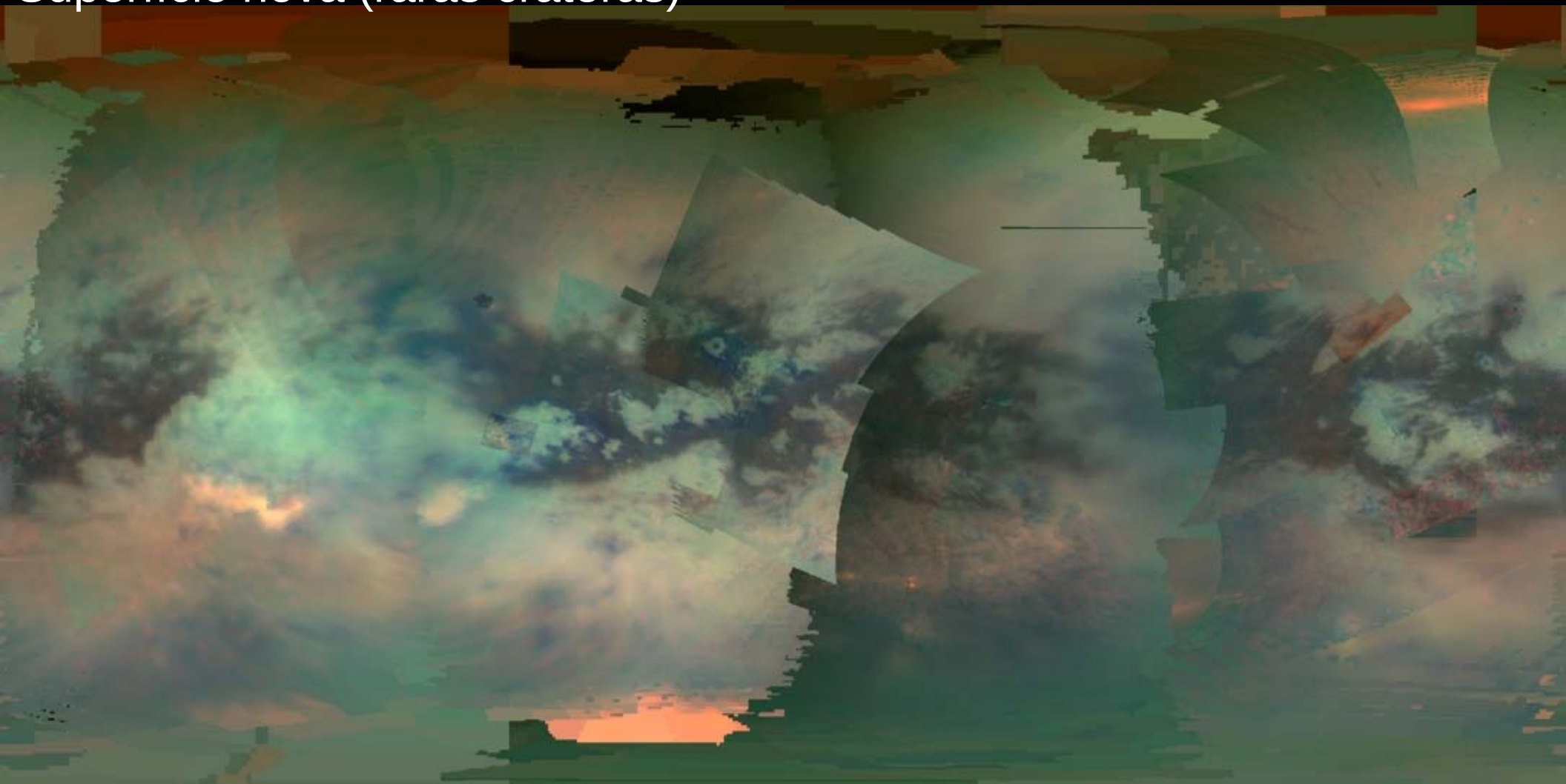
Observações da superfície

Visível entre bandas do metano a >0.94 μm

Não há oceanos

Superfície nova (raras crateras)

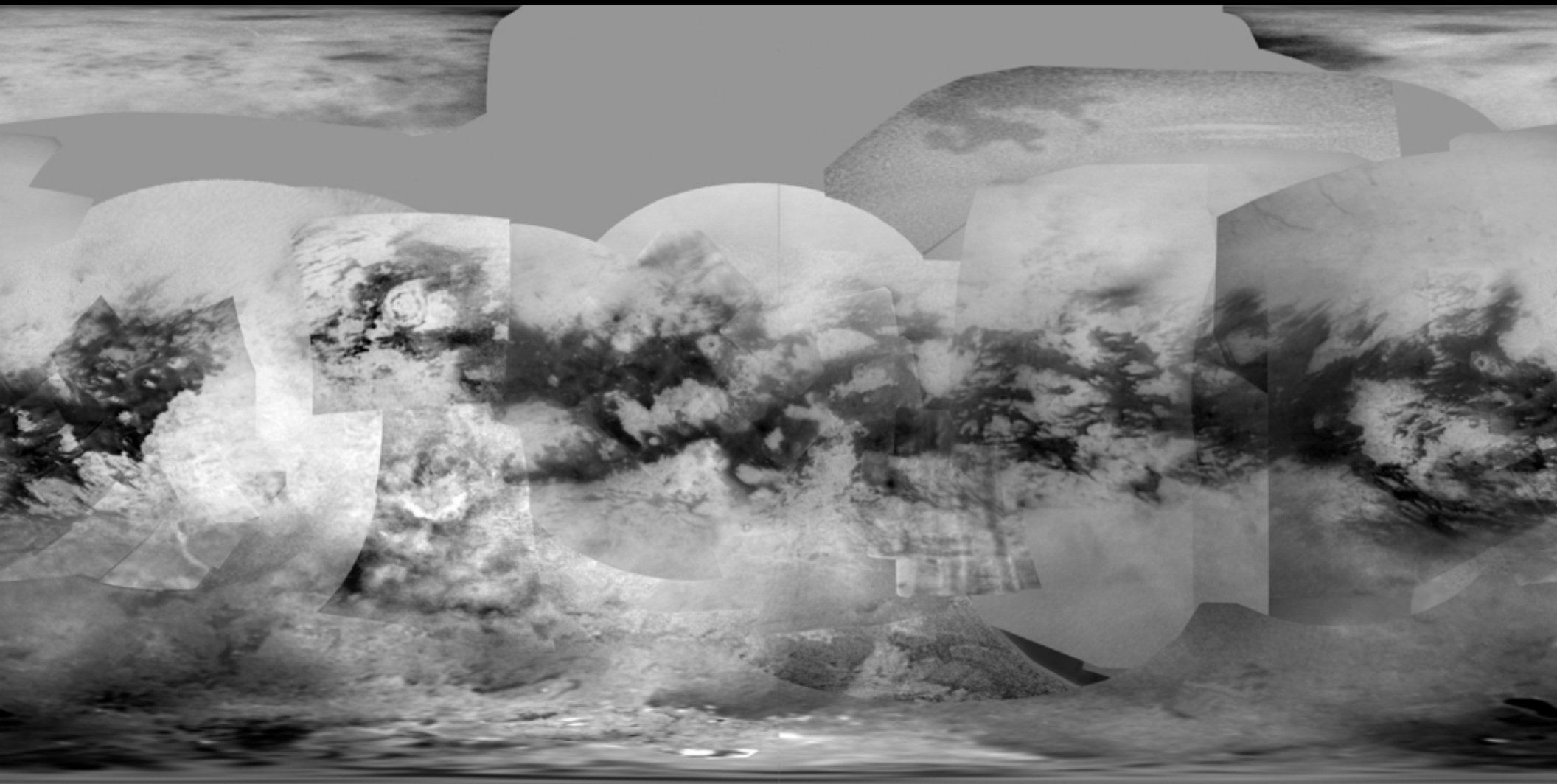
Cassini VIMS



Observações da superfície

Líquidos só encontrados em lagos polares

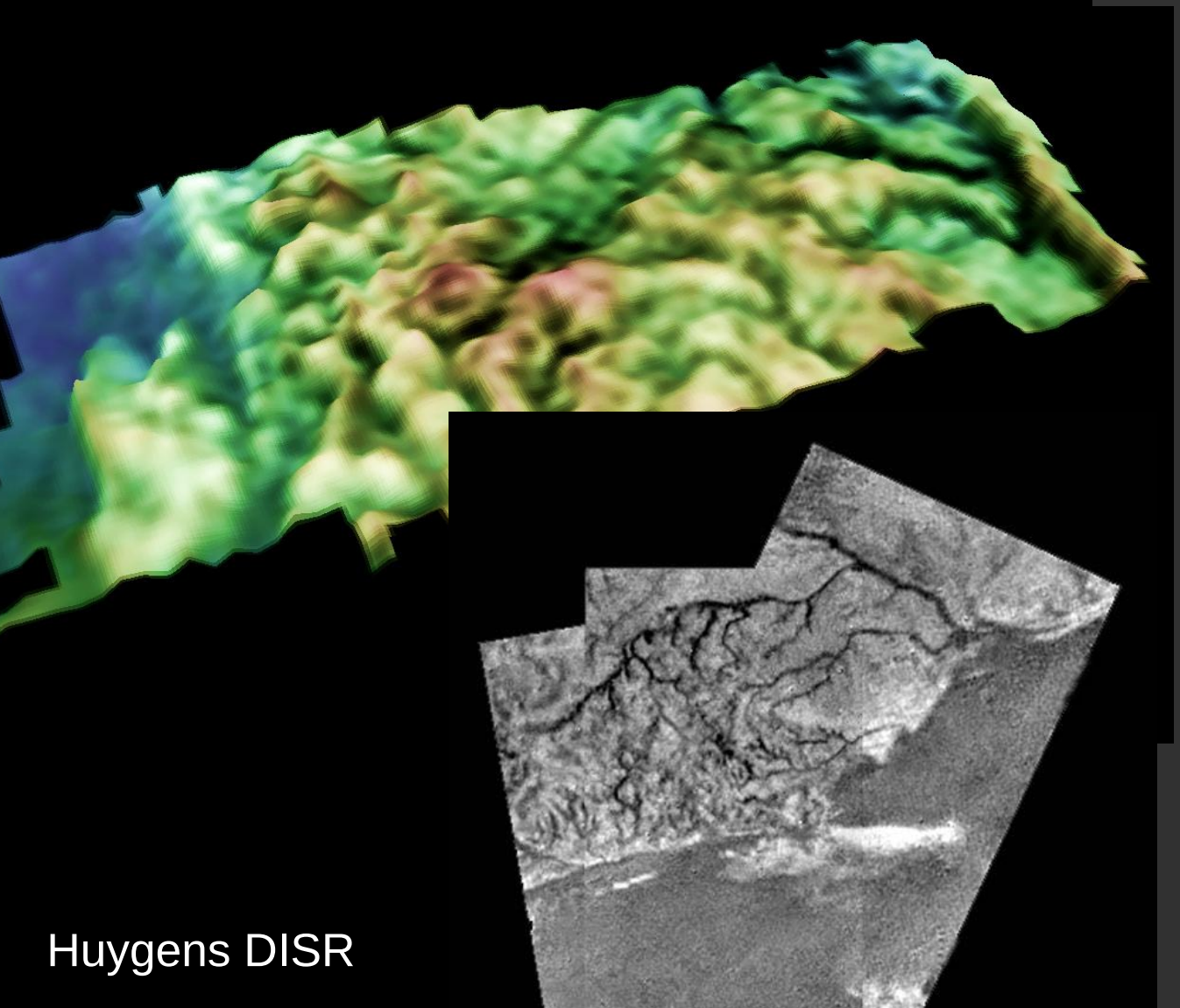
Cassini ISS

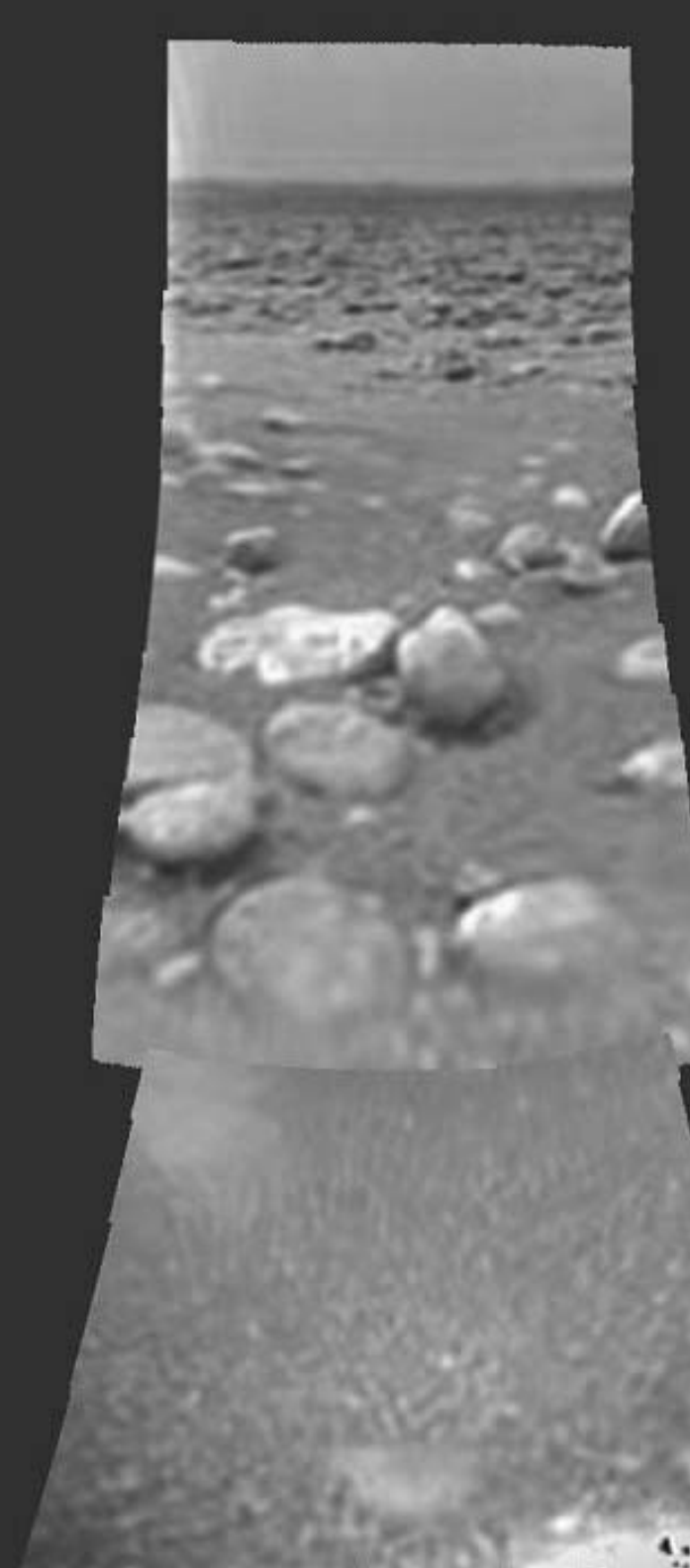


Observações da superfície

Sinais de erosão fluvial comuns, mas secos

Líquidos encontrados apenas nos pólos

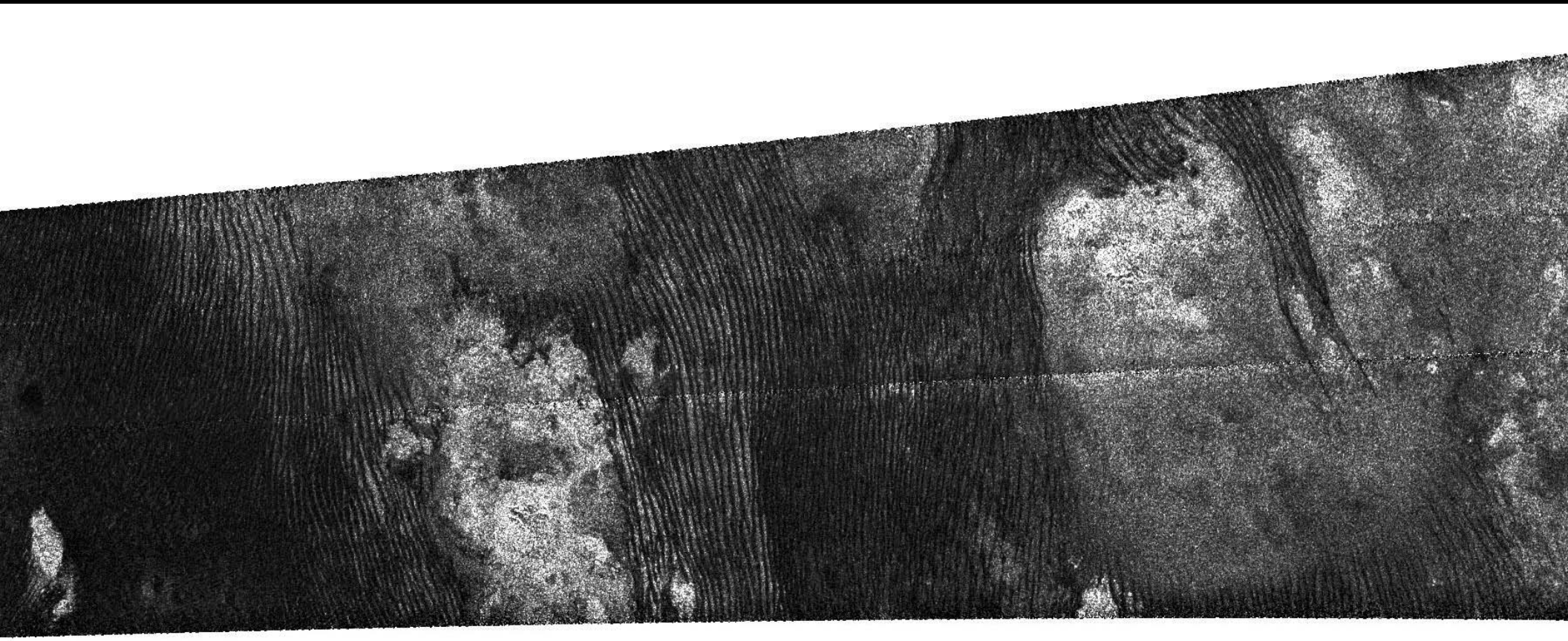




Huygens DISR

Observações da superfície

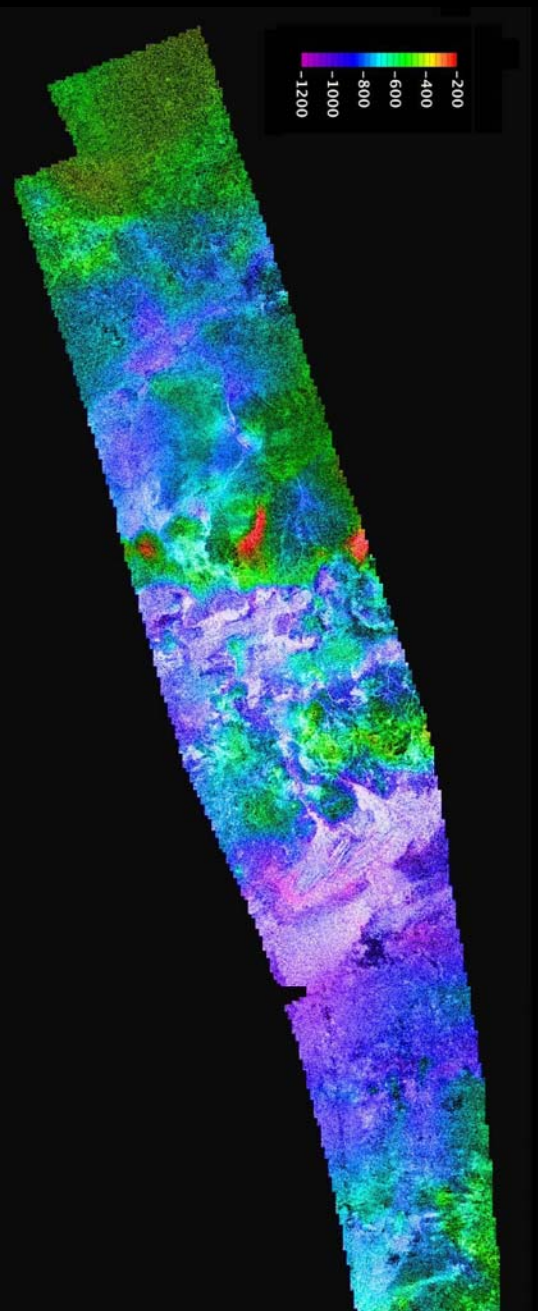
Dunas comuns em baixas latitudes

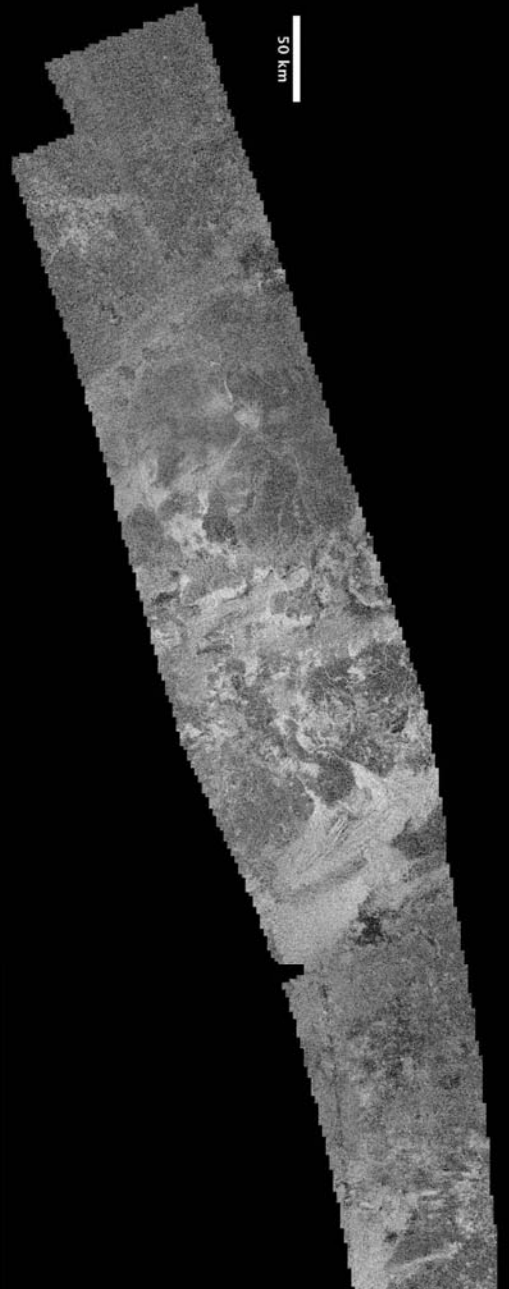


Cassini RADAR

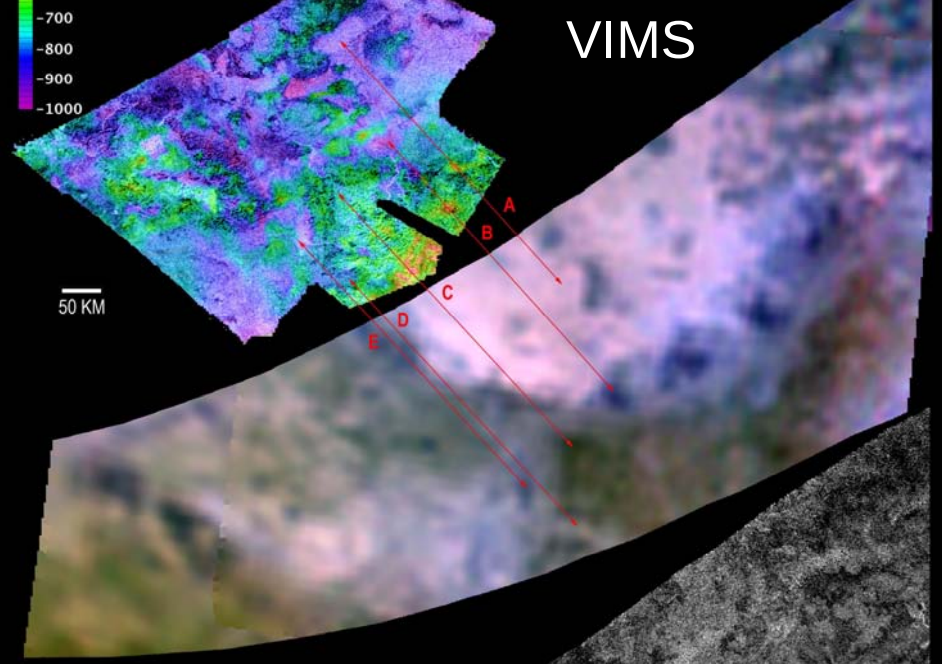
Observações da superfície

Possíveis estruturas vulcânicas

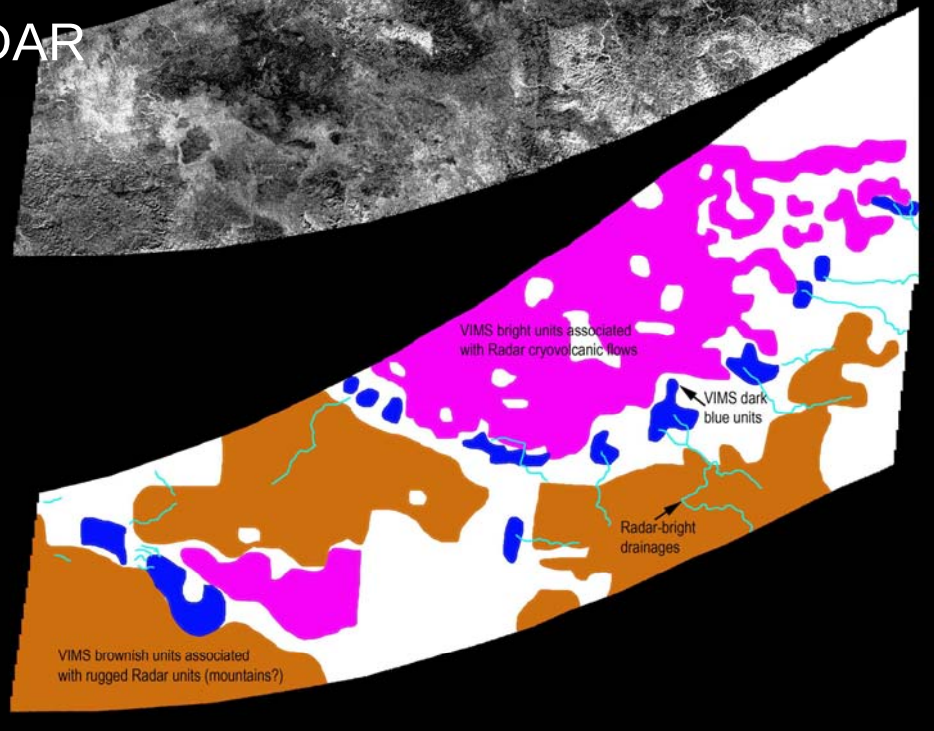




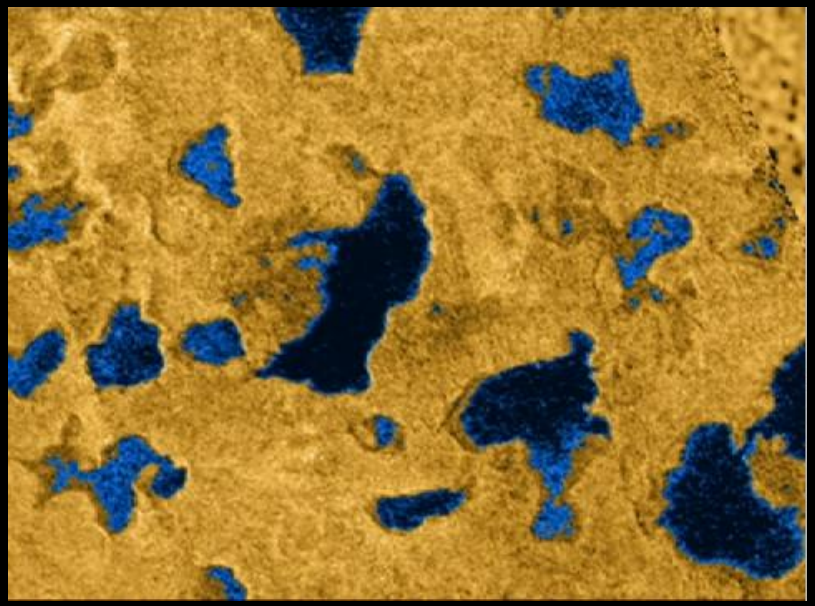
VIMS



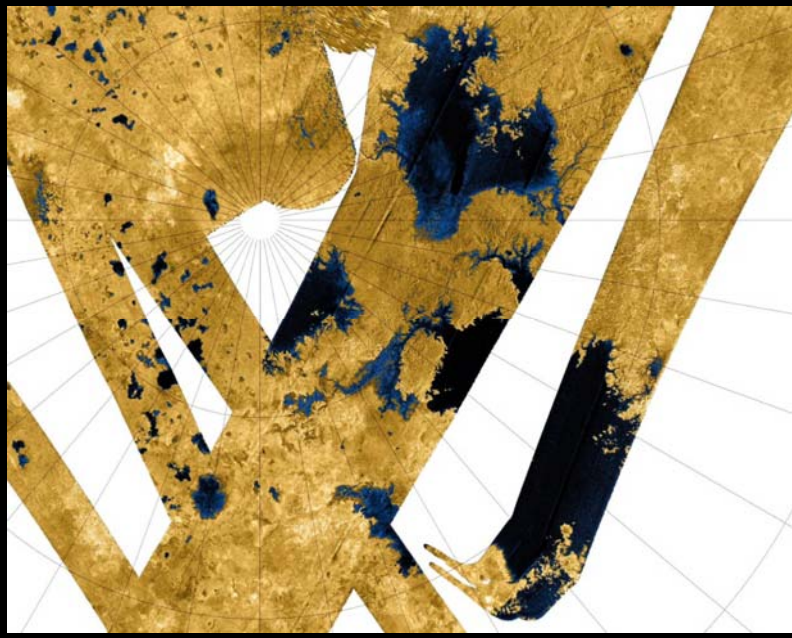
RADAR



Lagos

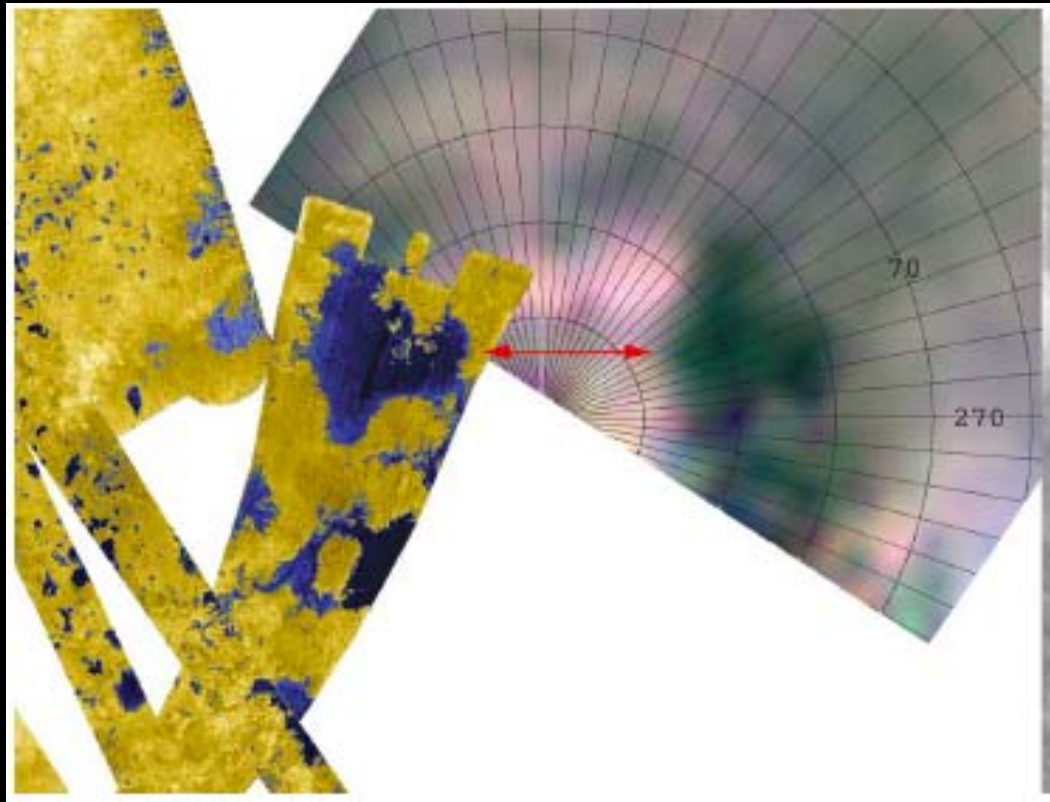


RADAR

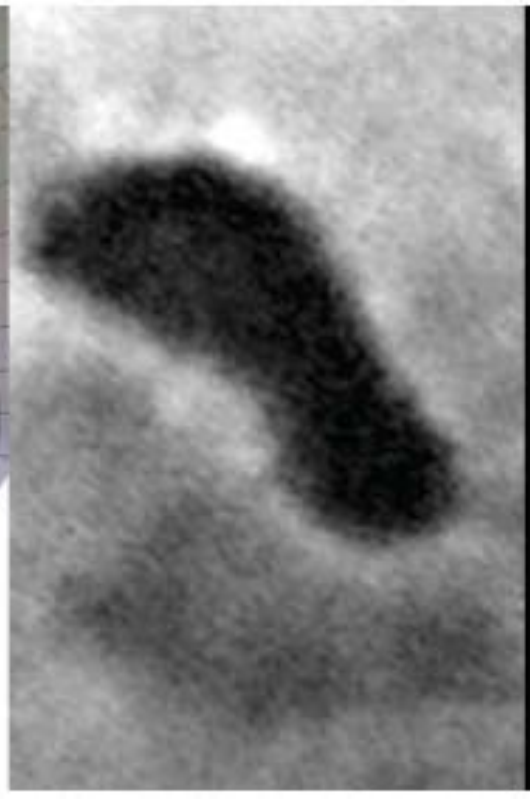


RADAR

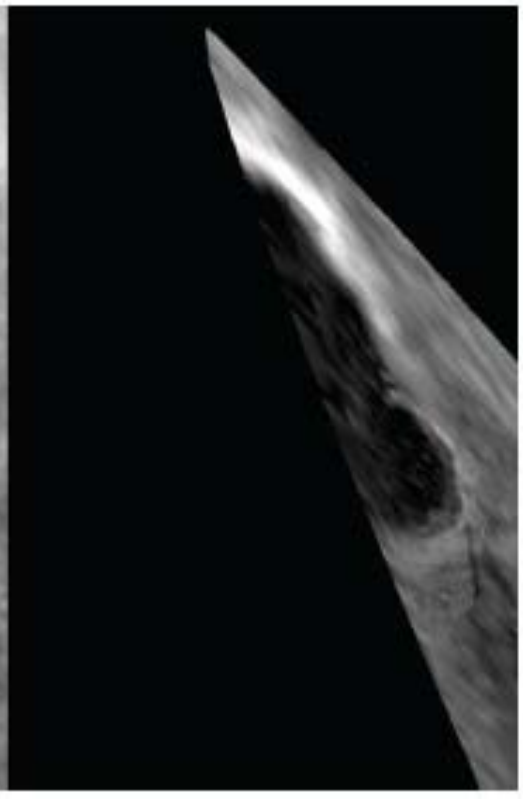
VIMS



ISS

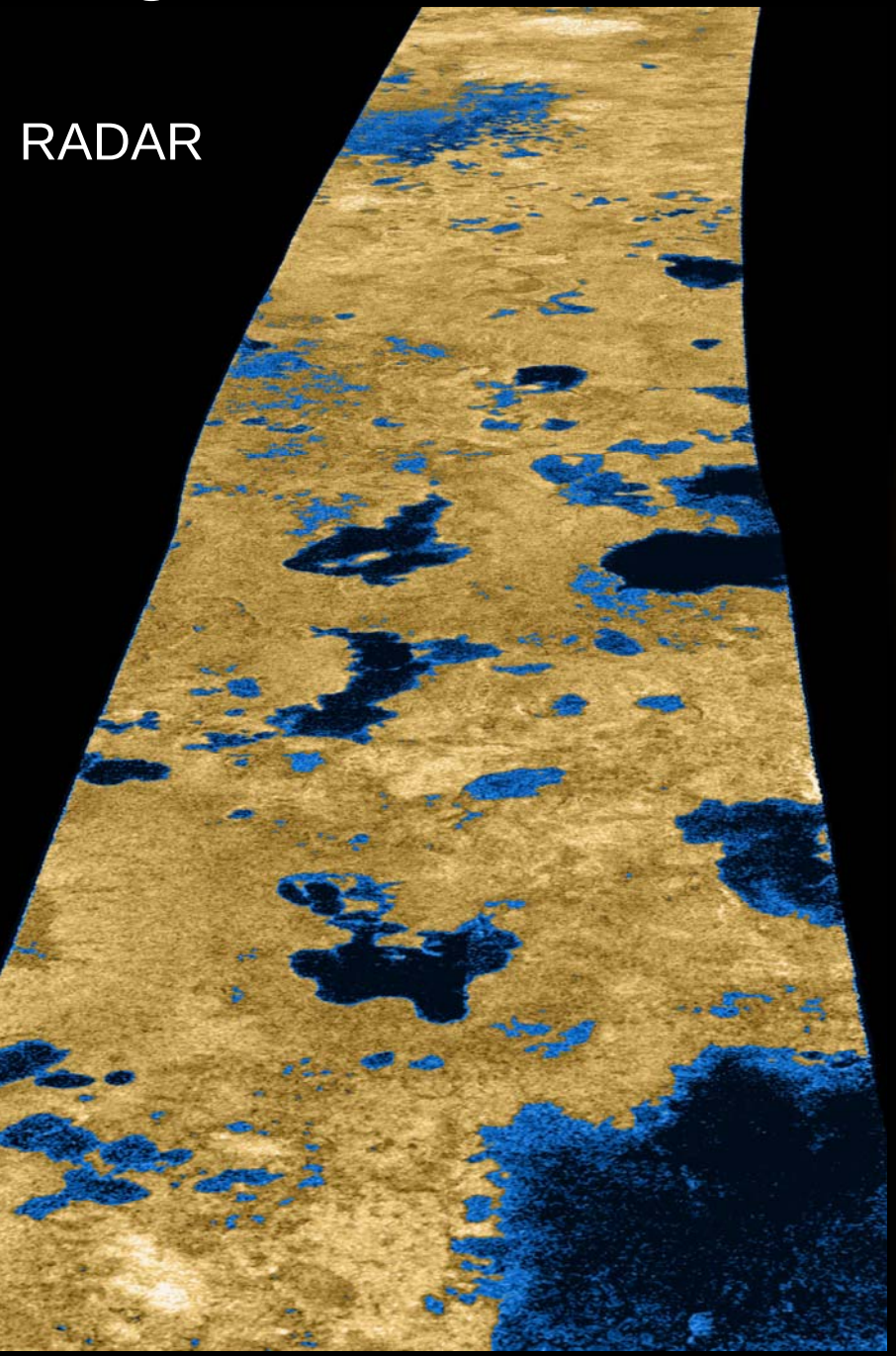


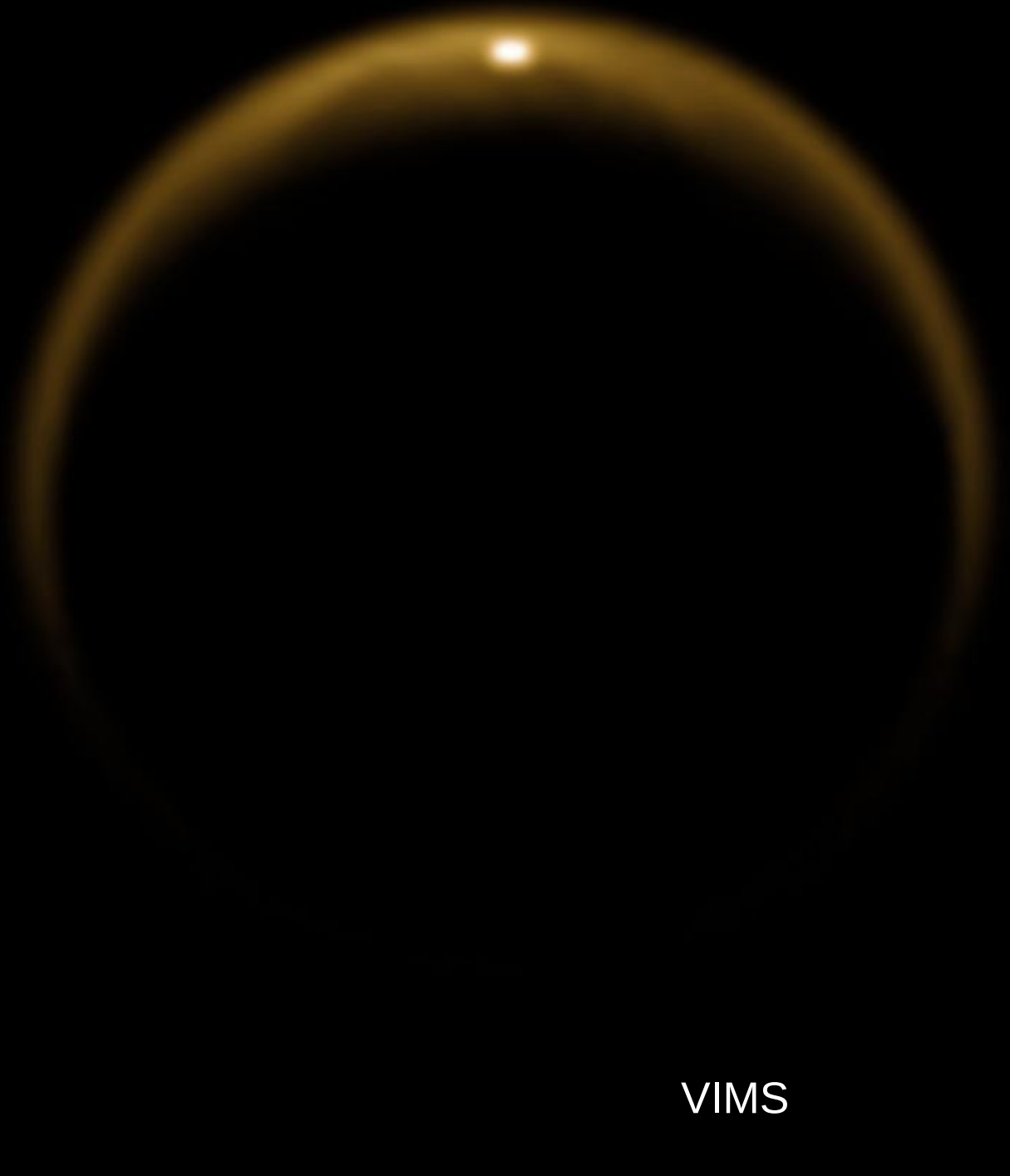
VIMS



Lagos

RADAR





VIMS

Nuvens de metano

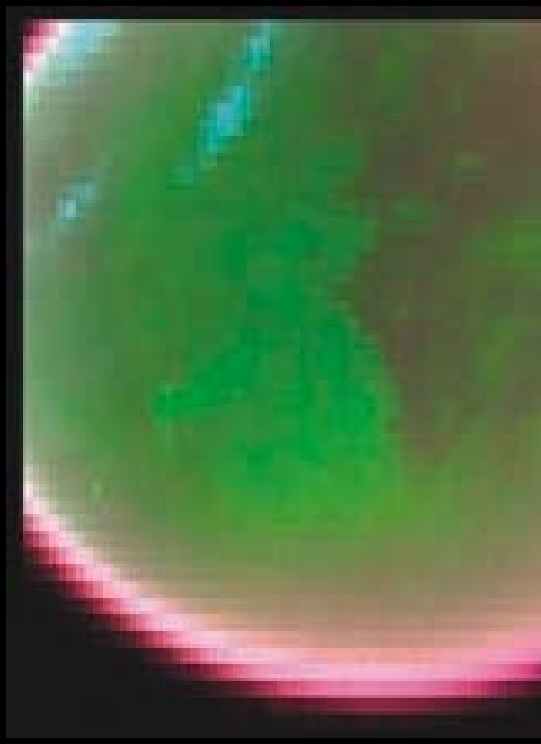
Identificadas em espectros de terra em 2 μm in 1995

Durante o verão (S) atual (2002-2009), comuns apenas no pólo S e latitudes temperadas S

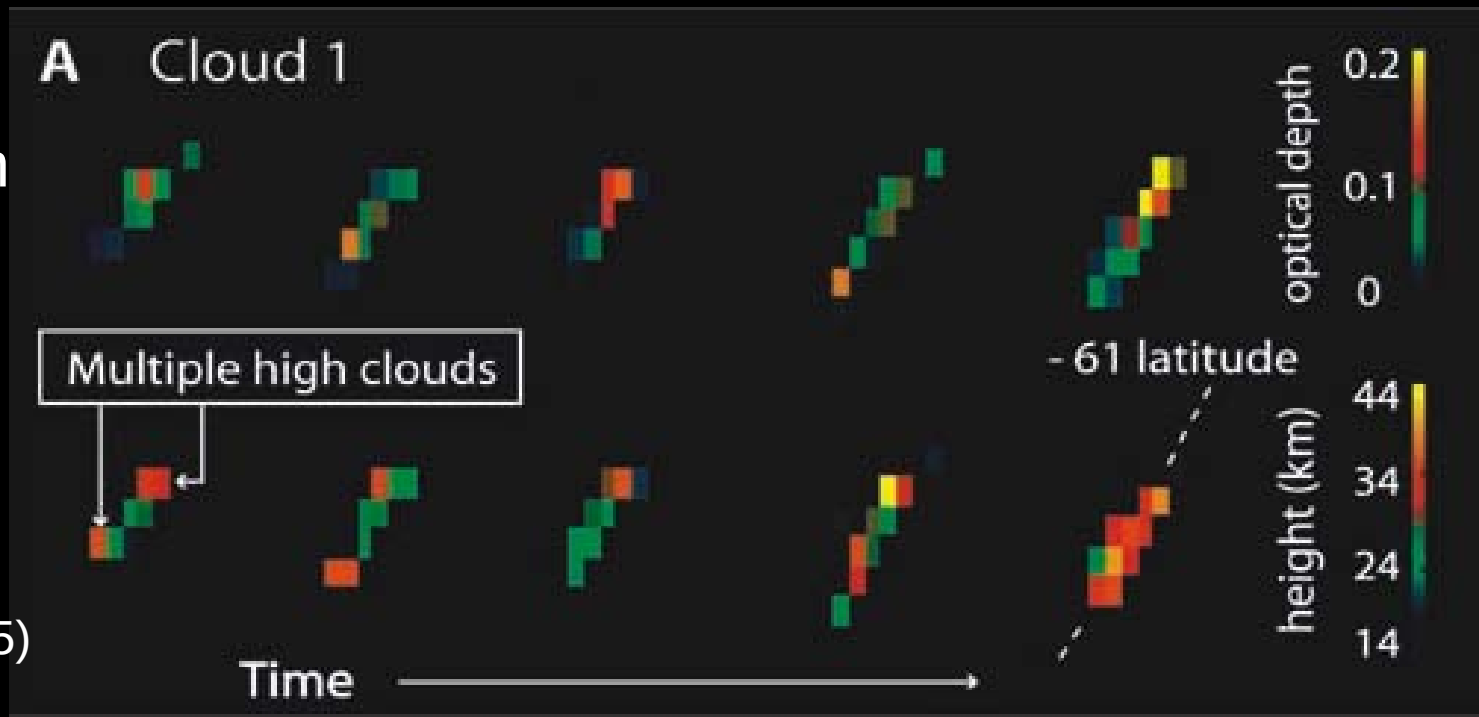
Evolução rápida (horas)

Sobem até a tropopausa (40 km), e espalhadas pelo vento

Não se correlacionam com estruturas na superfície

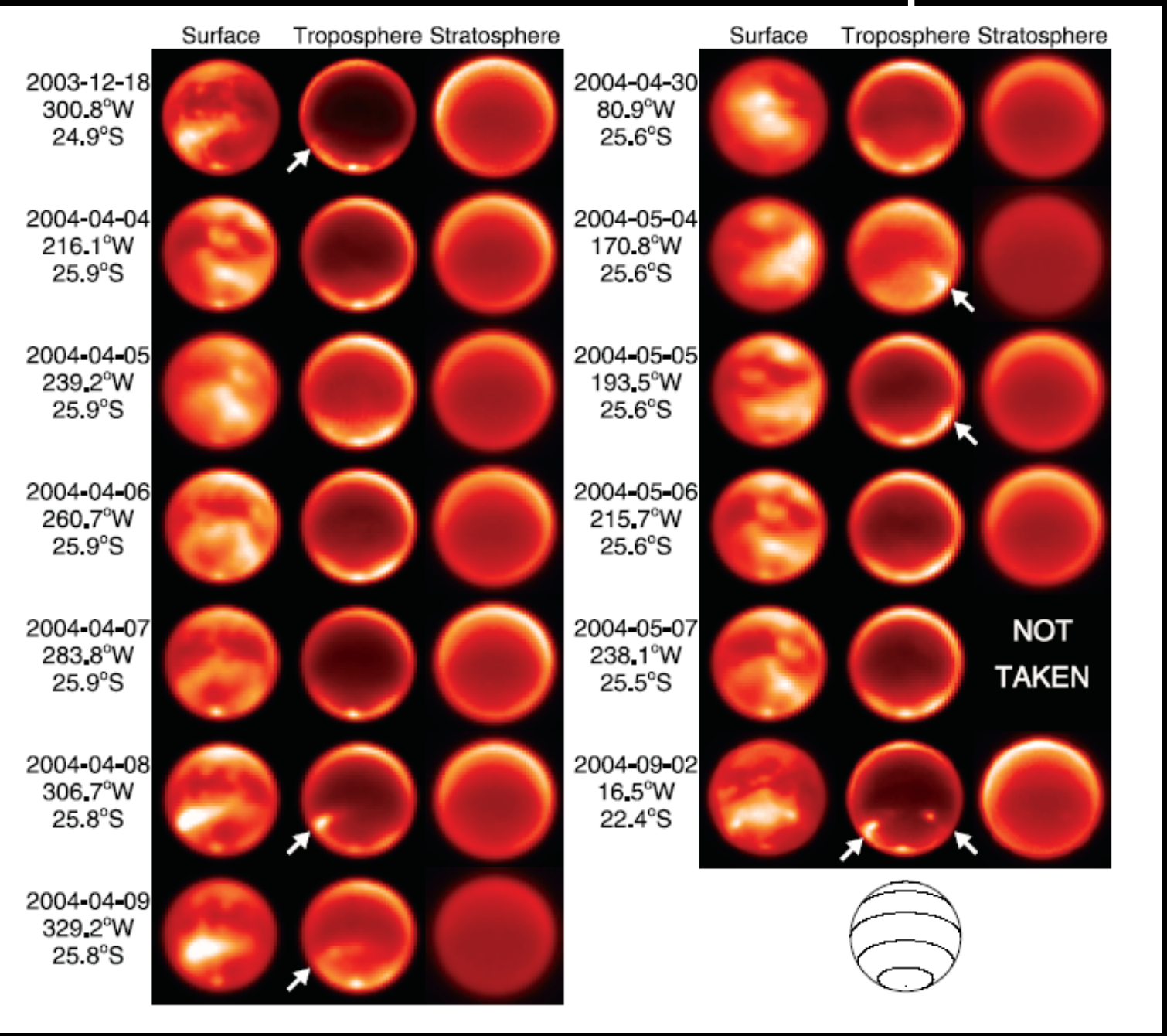


Cassini VIMS



(Griffith, Penteado *et al*., 2005)

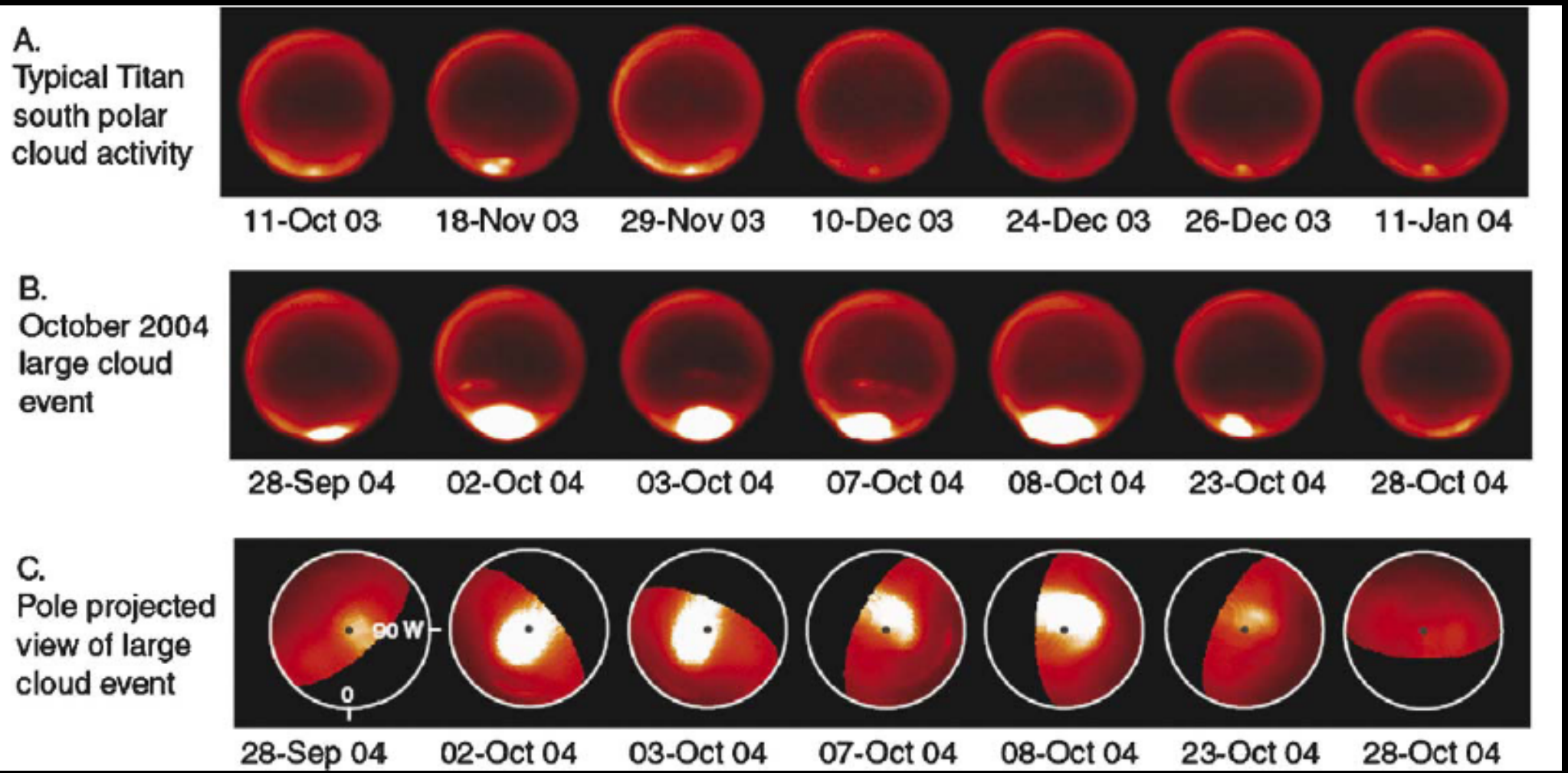
Nuvens em latitudes temperadas



(Roe *et al.*, 2005)

Tempestades polares

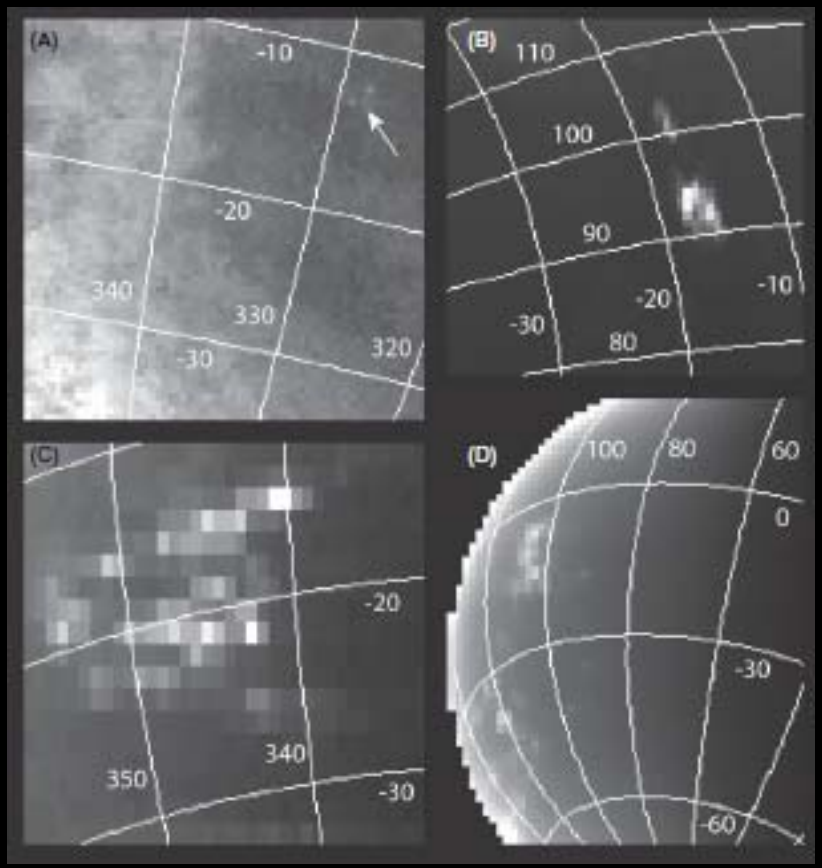
Muito raras, só observadas de terra.



(Schaller *et al*., 2006)

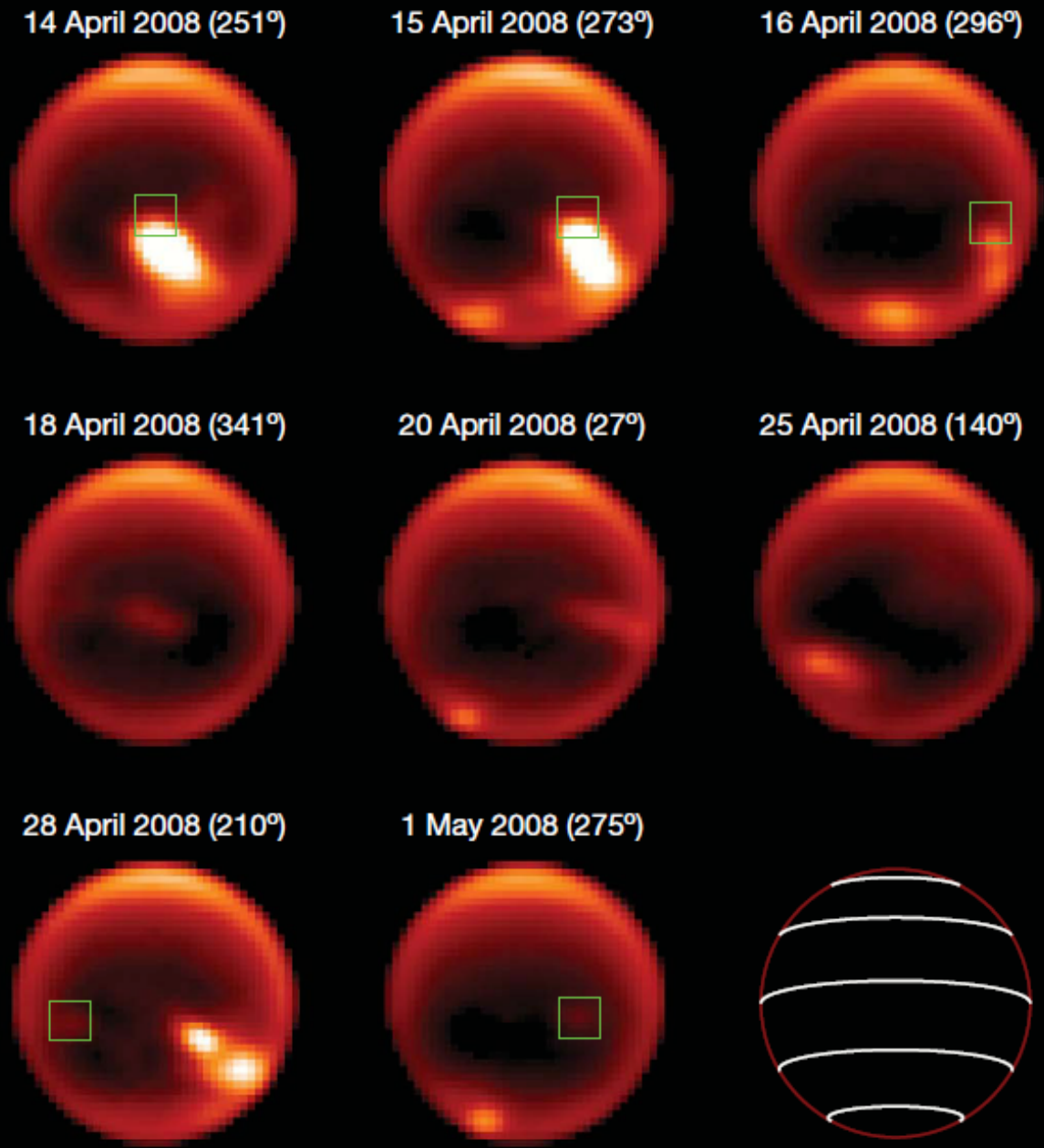
Tempestades tropicais

Muito raras, só observadas de terra.



(Griffith, Penteado *et al*., 2009)

(Schaller et al., 2009)



Hidrologia de Titã e da Terra

	Titã	Terra
Ciclo hidrológico	Metano	Água
Temperatura média na superfície	94° K	288° K
Temperatura efetiva	82° K	255° K
Duração do ano	29.5 anos	1 ano
Duração do dia	15.95 dias	1 dia
Obliqüidade	26.7°	23.4°
Raio	2575 km	6378 km
Gravidade na superfície	0.14 g	1 g
Pressão na superfície	1.5 atm	1 atm
Abundância de coluna da atmosfera	92 km-am	8 km-am
Vapor na atmosfera (se condensado)	5 m	2.5 cm
Coluna média de líquidos na superfície	0.4 m (?)	2.7 km
Concentração (média) de saturação de vapor	11.4%	1.7%
Fluxo solar no topo da atmosfera	15 W/m^2	1400W/m^2
Fração do fluxo solar que chega à superfície	10%	57%

Efeitos da circulação na névoa e CH_4

Névoa é carregada pela circulação.

Névoa força a circulação (absorve 40% da insolação)

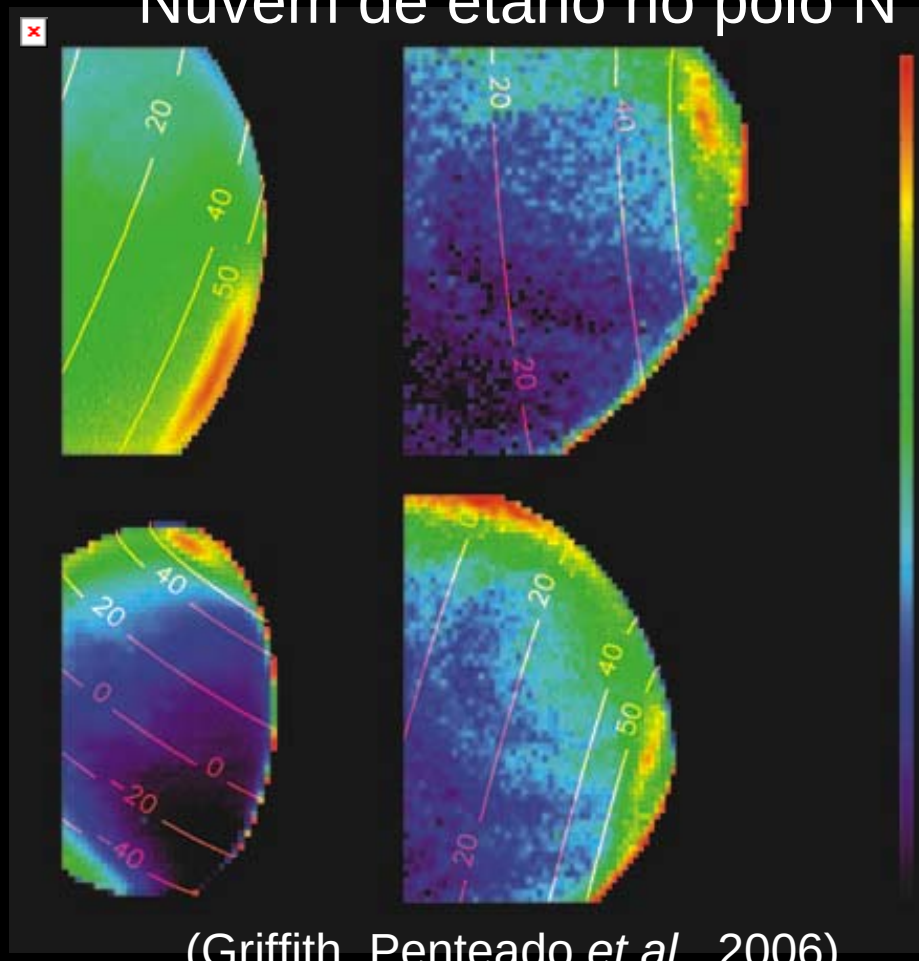
A circulação ascende em latitudes temperadas no verão e descende no pólo do inverno.

Névoa concentrada no hemisfério do inverno.

Metano concentrado nas regiões de ascenção e depletado nas regiões de descida.

Não explica as variações em longitude das nuvens.

Nuvem de etano no pólo N



(Griffith, Penteado *et al*., 2006)

Determinações da abundância global de CH_4

Necessárias para identificar como o metano se move entre atmosfera e superfície

Medidas de bandas do CH_4 têm altas incertezas:

1) Faltam medidas de coeficientes de absorção com baixas temperaturas + altas abundâncias de coluna

2) Bandas fortes estão saturadas no espectro de Titã

3) Névoa afeta fortemente o espectro e é variável

Medidas globais: 0.4-4.0 Km-am - sub a supersaturação

(Lellouch *et al*. 1989, Courtin *et al*. 1995, Lellouch *et al*. 1992, Lemmon *et al*. 2002)

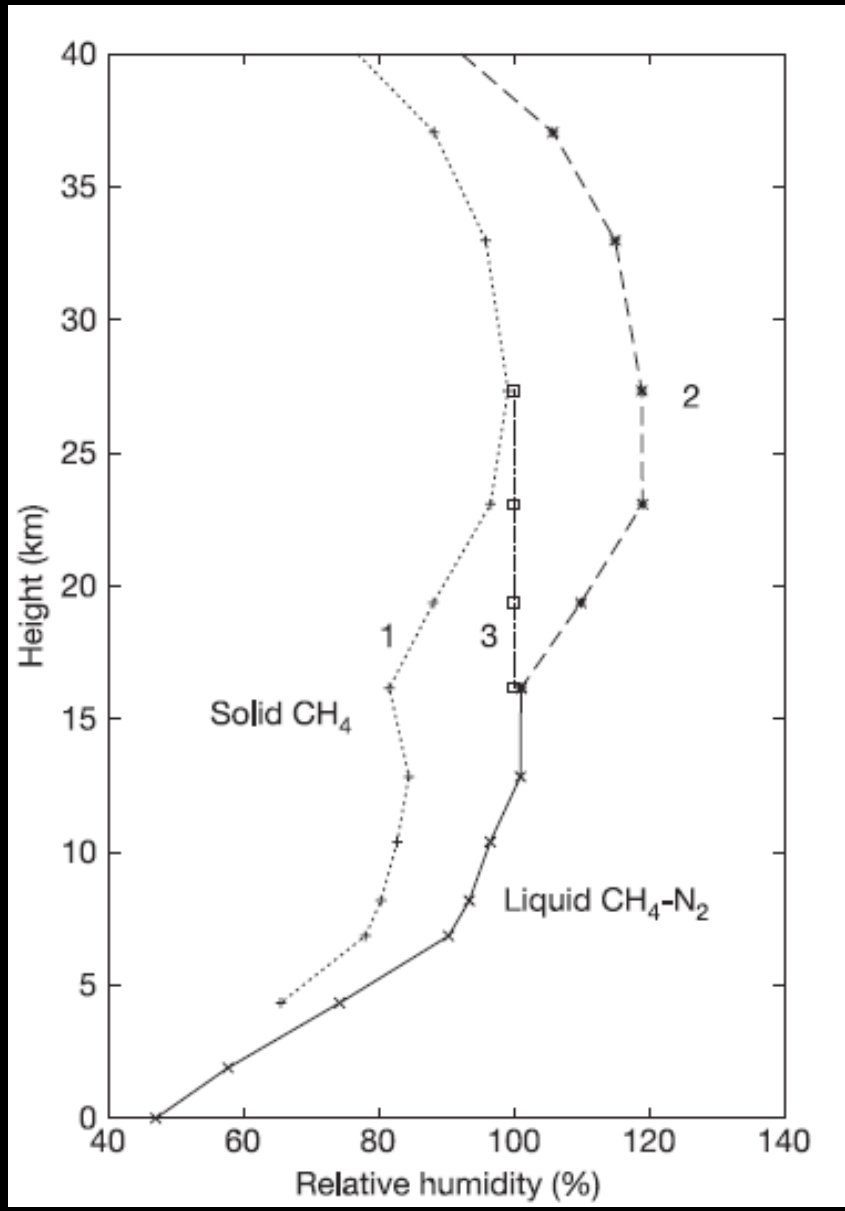
Metano no local da Huygens

Pouso em 10˚ S, 194˚ W

Único perfil detalhado até a superfície

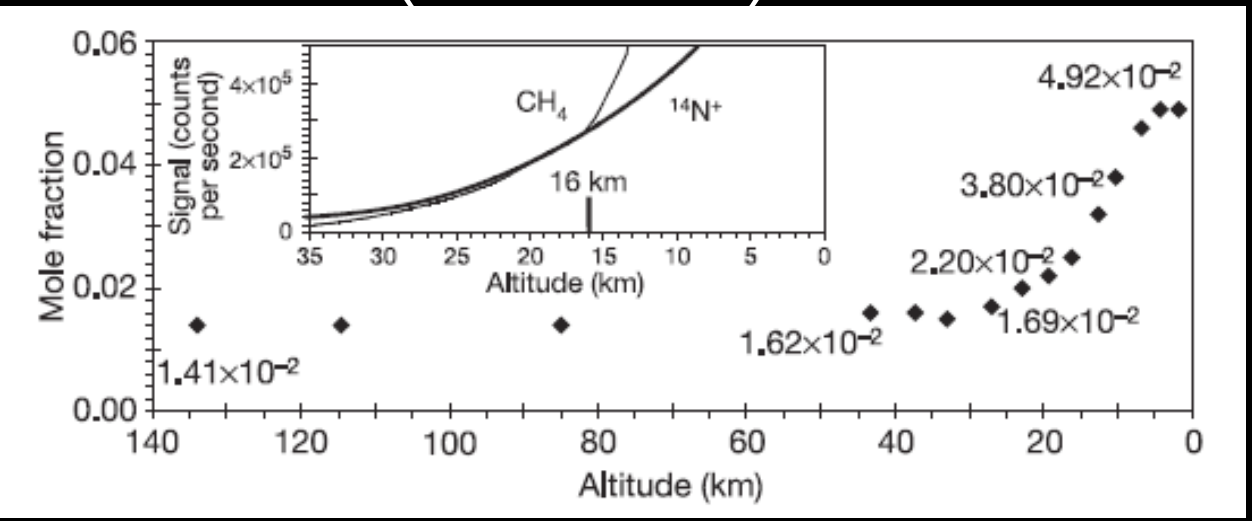
Umidade relativa na superfície 45%

Perfil de umidade relativa:



(Tokano *et al*., 2006)

Perfil medido (abundância):



(Niemann *et al*., 2005)

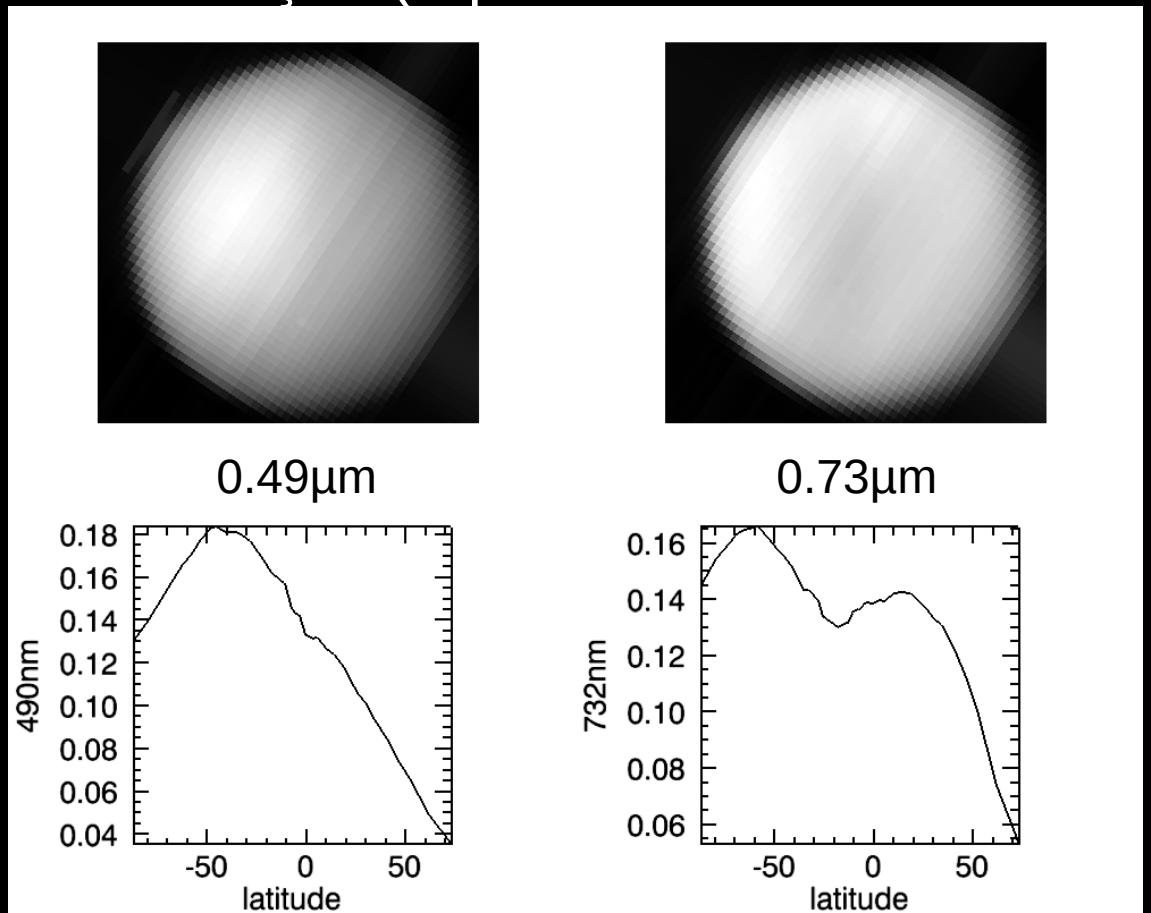
Variação sazonal e espacial da névoa

Assimetria N/S observada desde as Voyager (1980/1981)

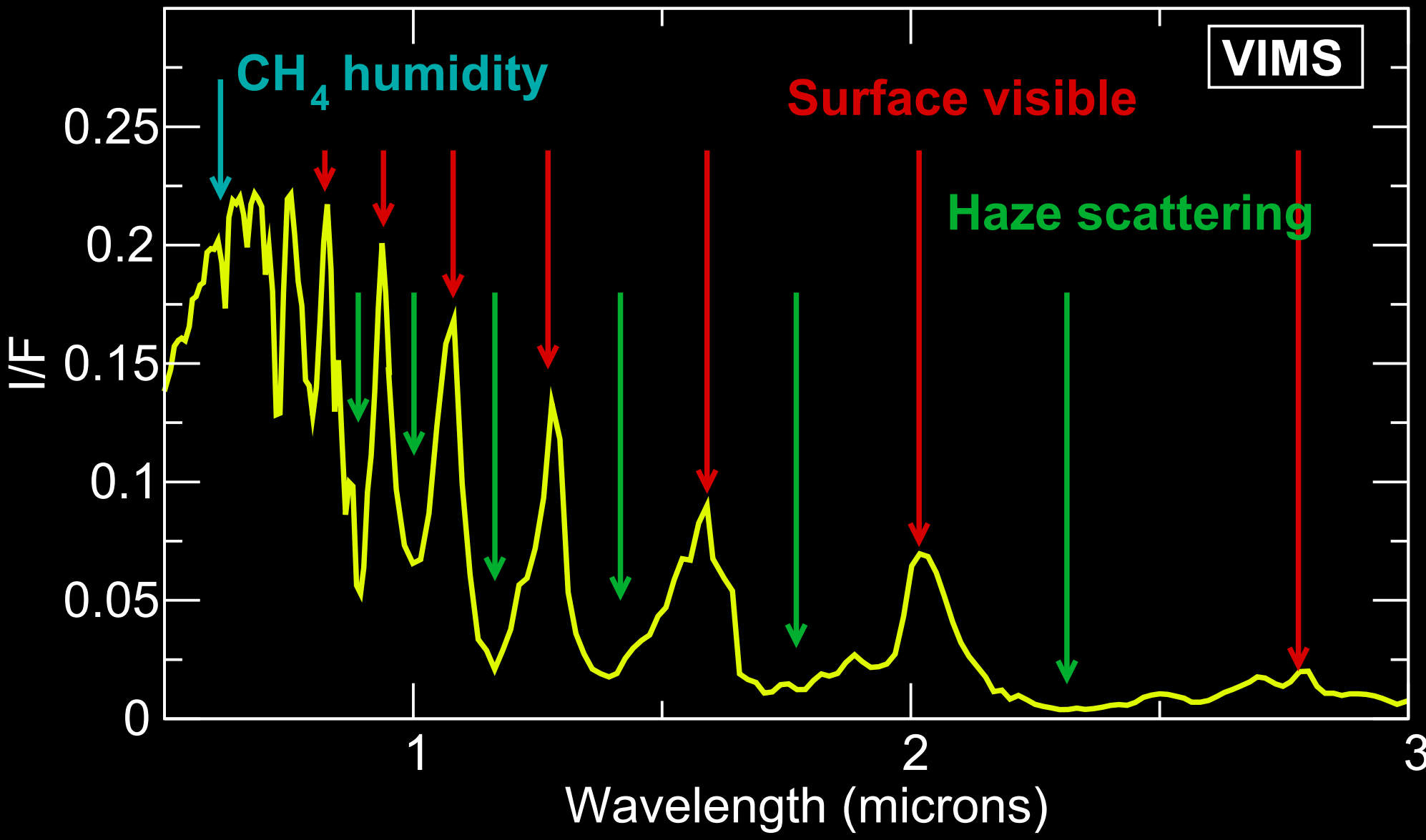
Assimetria depende do comprimento de onda (absorção/espalhamento)

Mudança sazonal indicadora da circulação global:

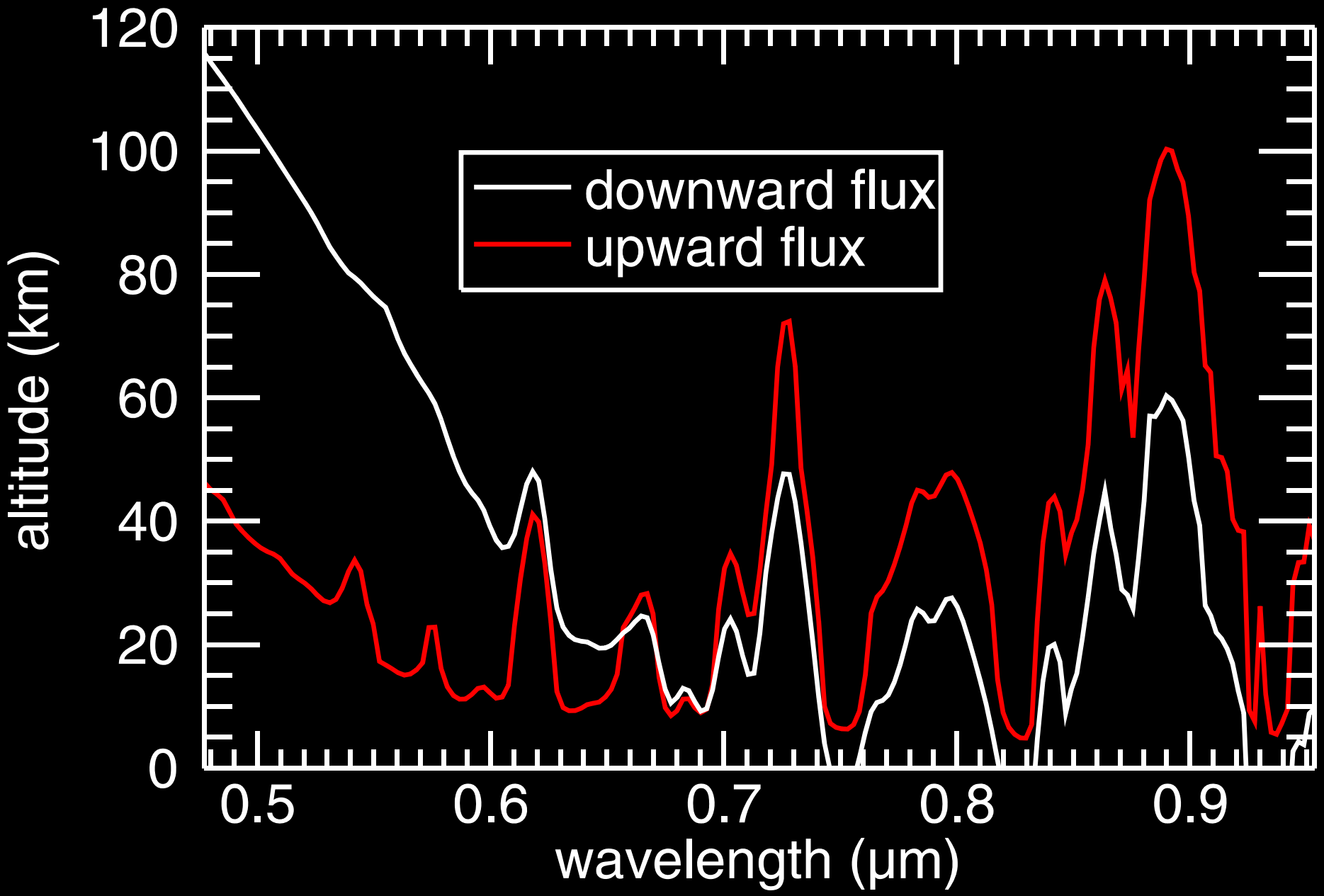
- Névoa é carregada pela circulação
- Névoa força a circulação (aquecimento/resfriamento radiativo)



Características do espectro de Titã

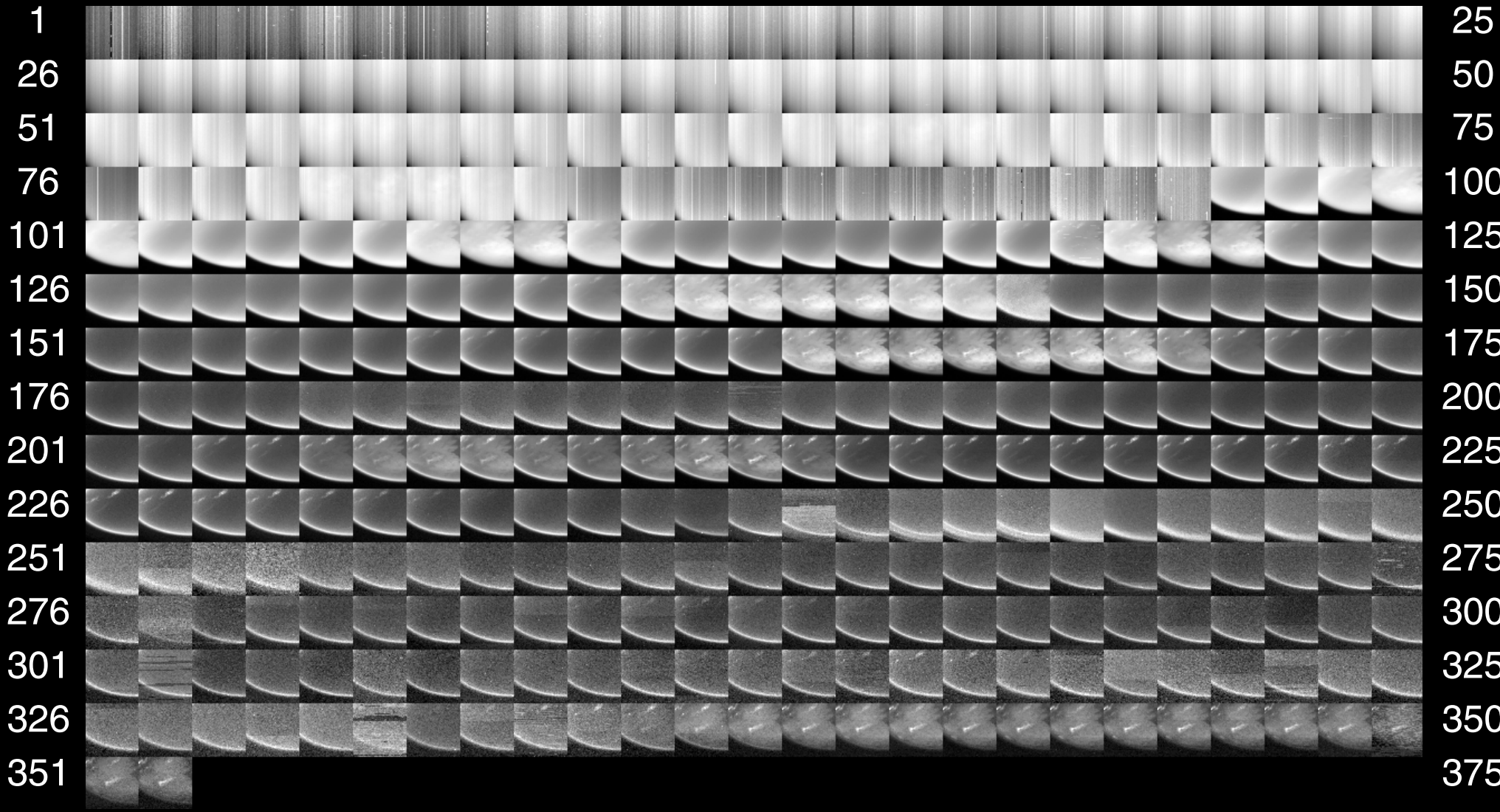


Altitudes de meio-fluxo



Imagens Cassini VIMS em 0.35-5.11 μm

Bandas com diferente profundidade óptica do metano e da névoa mostram altitudes diferentes na atmosfera



Modelos de transferência radiativa

Aproximação de ordenadas discretas (polinômios de Legendre):

- Mais precisa que 2-feixes, mais rápida que doubling and adding ou raytracing

Usados para reproduzir:

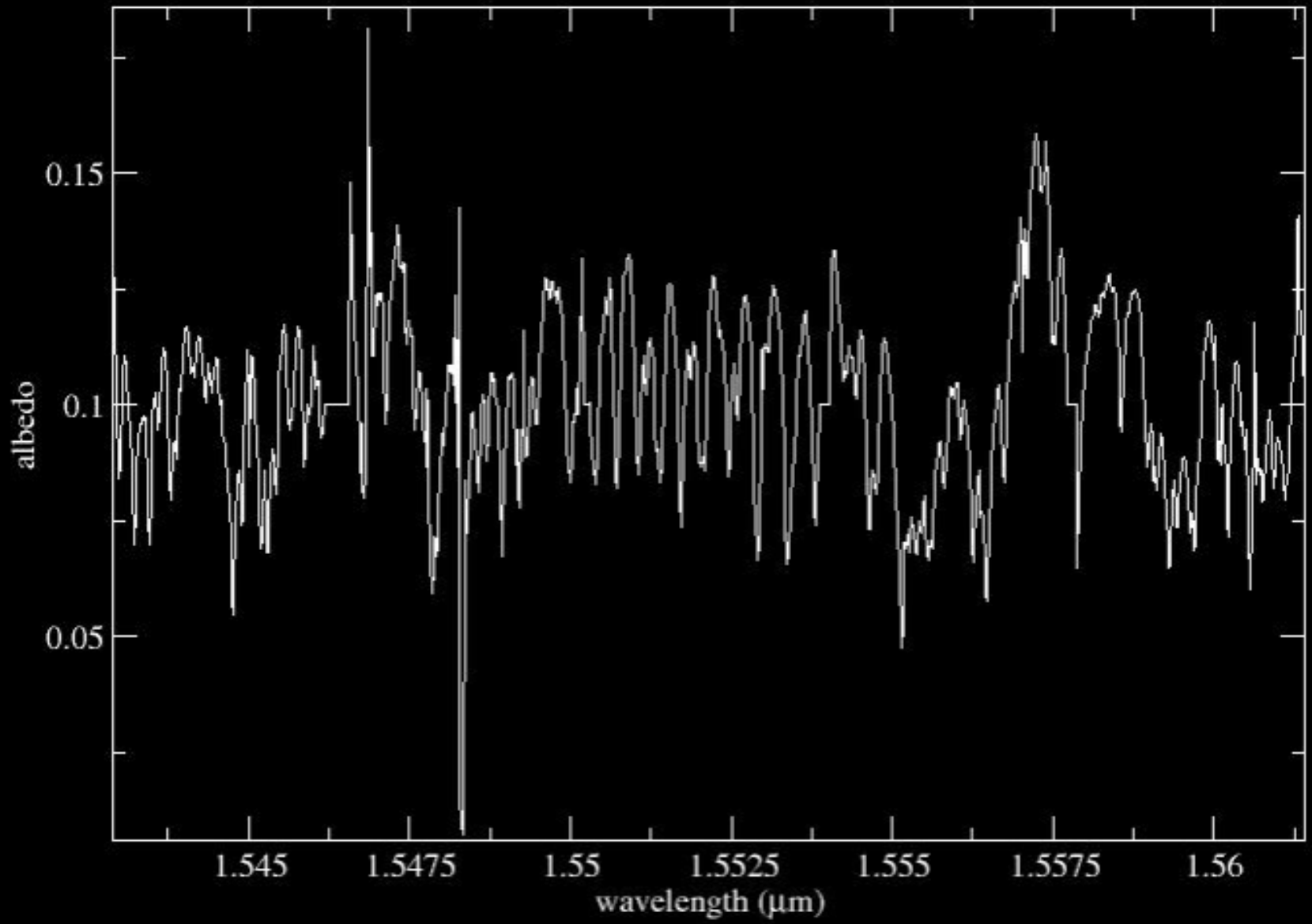
Linhas de absorção CH_3D em 1.6 μm
- Baixas incertezas nos coeficientes
- Não saturadas no espectro de Titã
- Espectros de terra de alta resolução (IRTF e Keck)

Linhas de emissão CH_3D, CH_4 em 8.6 μm (IRTF)
- Razão CH_3D/CH_4 para obter CH_4 de CH_3D
- Razão isotópica não sofre de incertezas pela temperatura

Absorção CH_4 em 0.6 μm (Cassini VIMS)
- Fortemente afetada pela névoa
- Bandas fracas de metano caracterizadas pela Huygens

Observações CH_3D em 1.6 µm

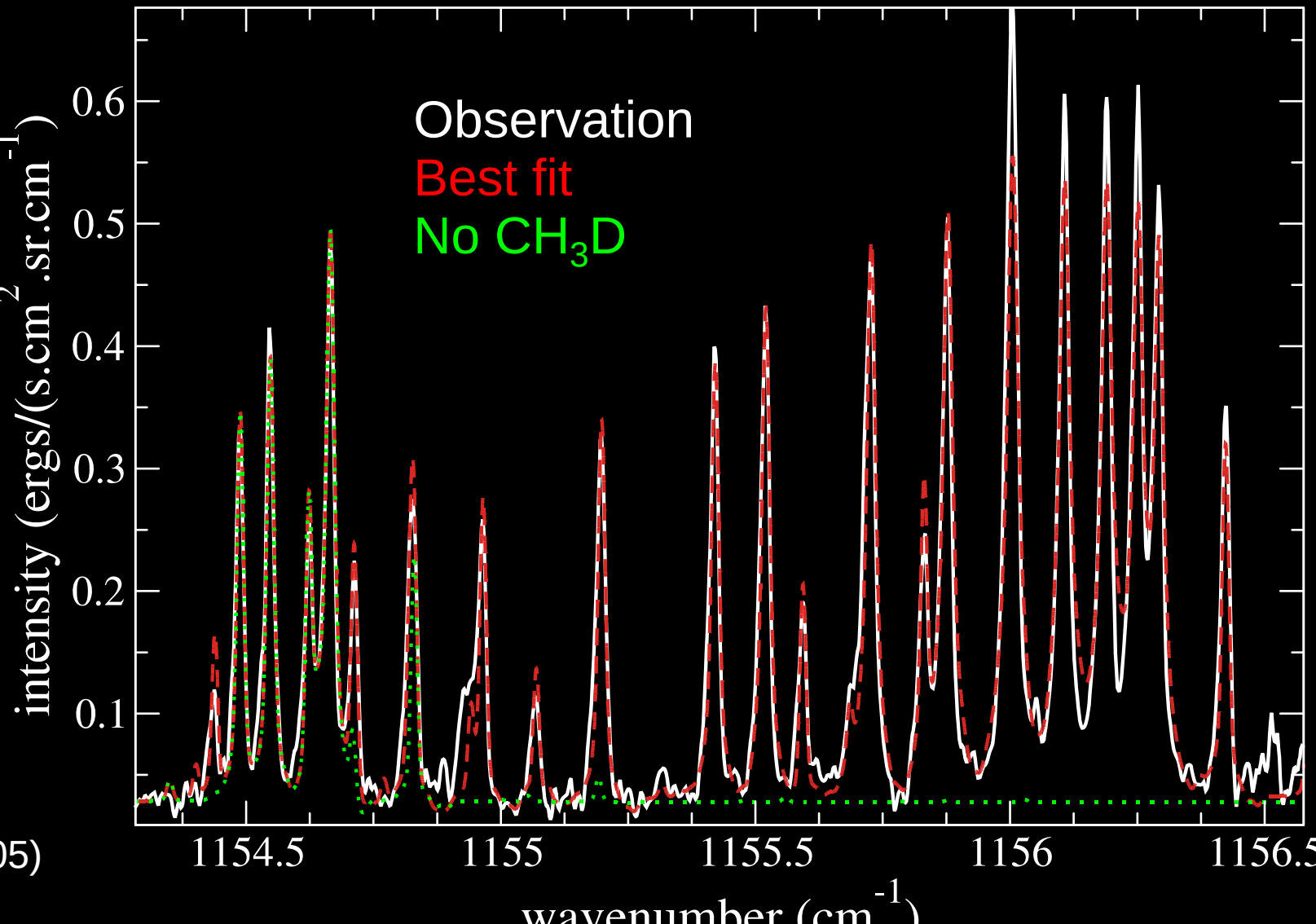
Espectros não resolvidos espacialmente IRTF CSHELL (Cryogenic Near-IR Facility Spectrograph) com R~20000



Razão CH_3D/CH_4

Espectros IRTF TEXES (Texas Echellon Cross-Dispersed Spectrograph)

Ajuste para 10 linhas de CH_4 e 26 de CH_3D : $CH_3D/CH_4=50\pm10x10^{-5}$



(Penteado *et al*., 2005)

Abundâncias de CH_3D

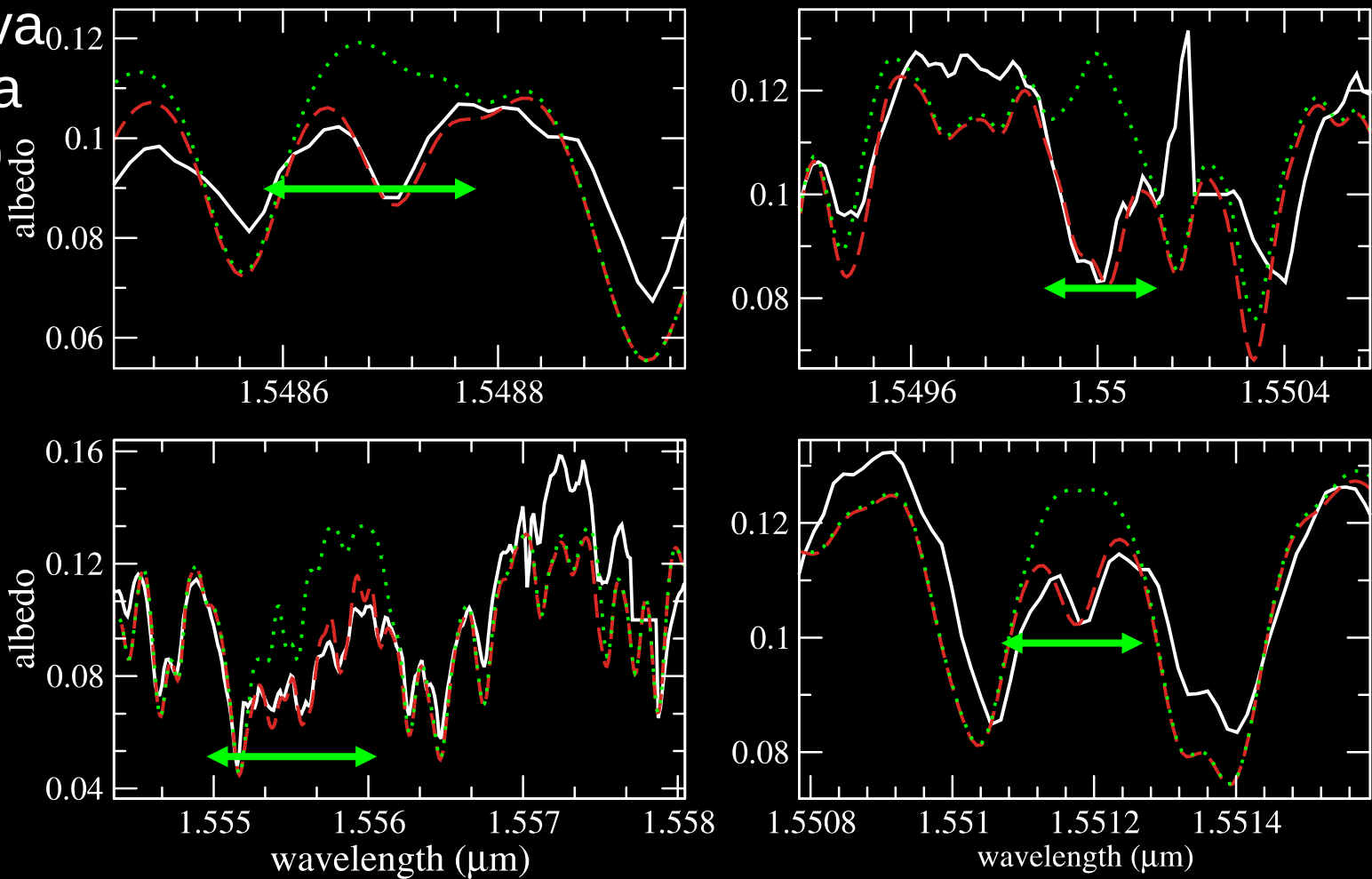
2.0-2.2 m-am de CH_3D

Incerteza resultante de absorção de CH_4

$CH_4=4.2^{+1.3}_{-0.9}$ km-am ($4.9^{+1.5}_{-1.0}$% do total da atmosfera)

Alta umidade relativa (atmosfera saturada tem $4^{+1.4}_{-0.9}$ km-am)

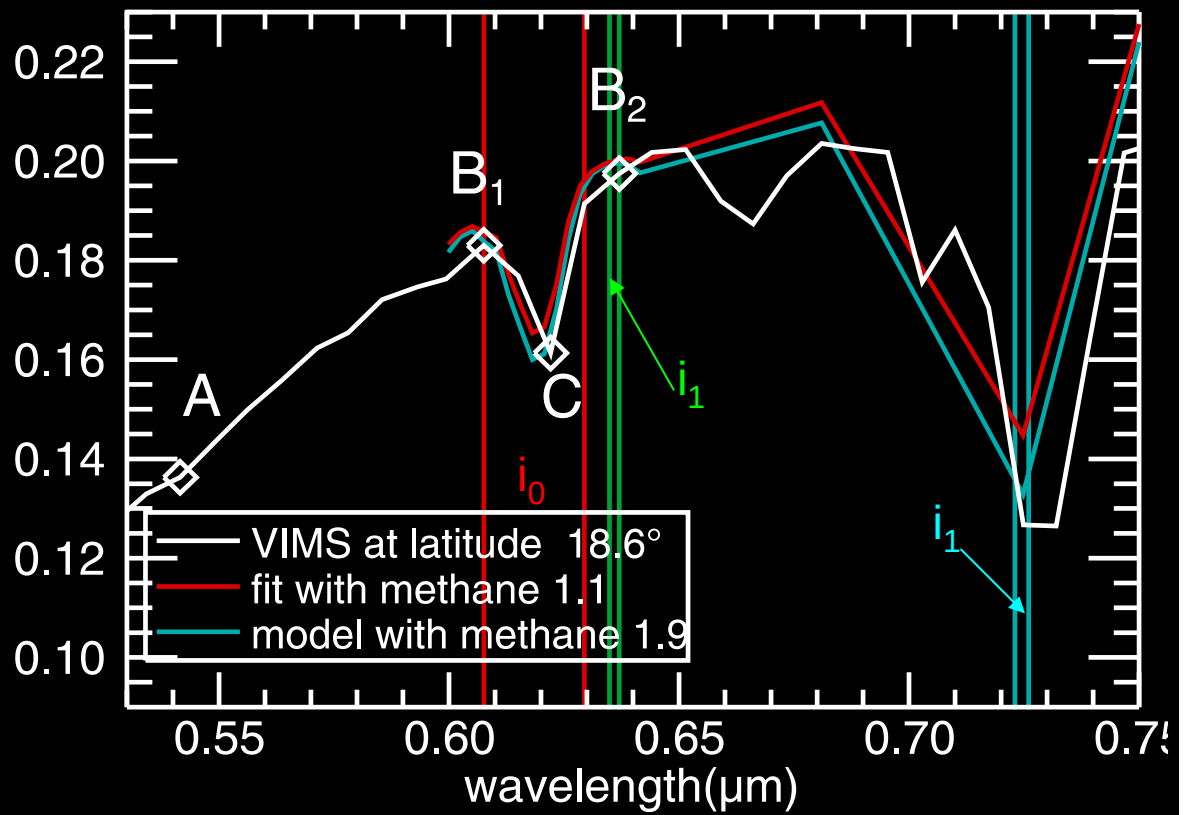
Anterior à Huygens (2.86±0.14km-am)

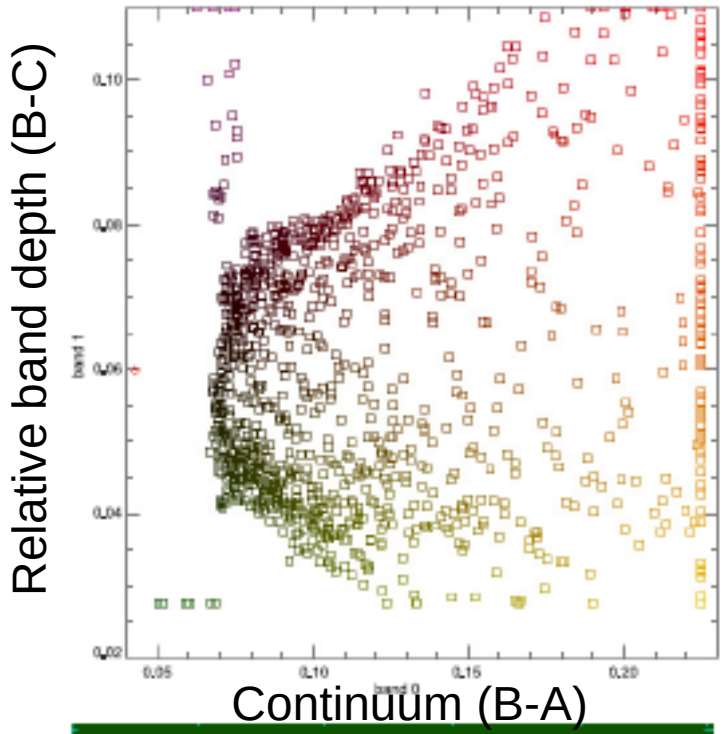


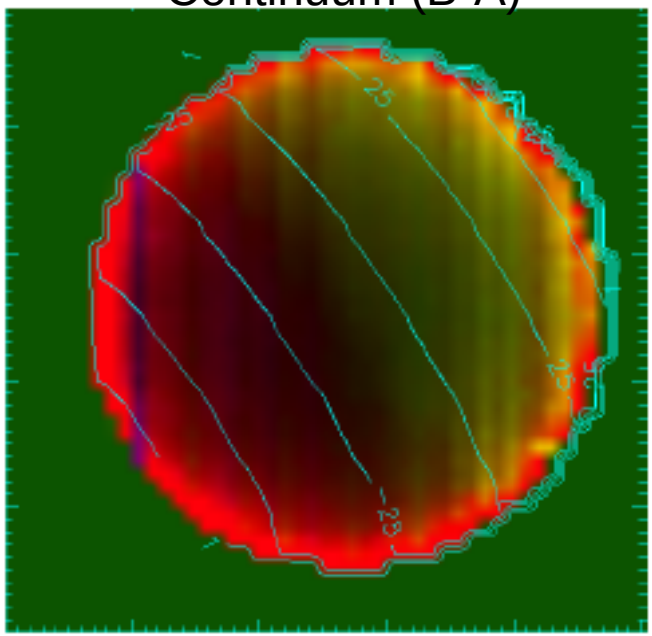
Observation
Best fit
No CH_3D

Variabilidade da névoa e do metano

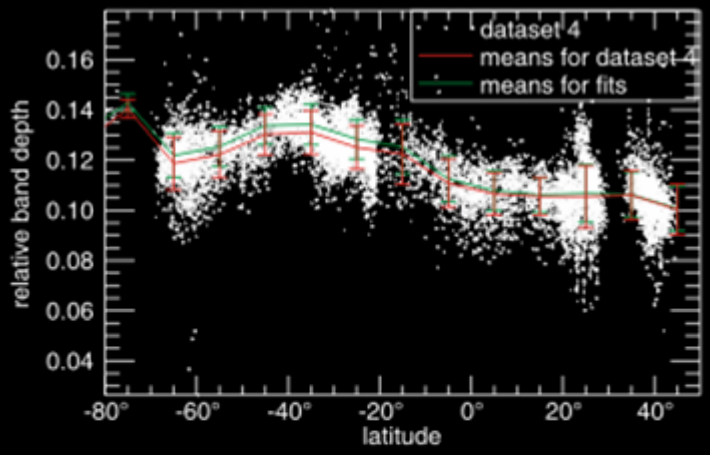
Mapeamento (Cassini VIMS) da banda em 0.61µm e do contínuo mostram maiores profundidade de banda no sul

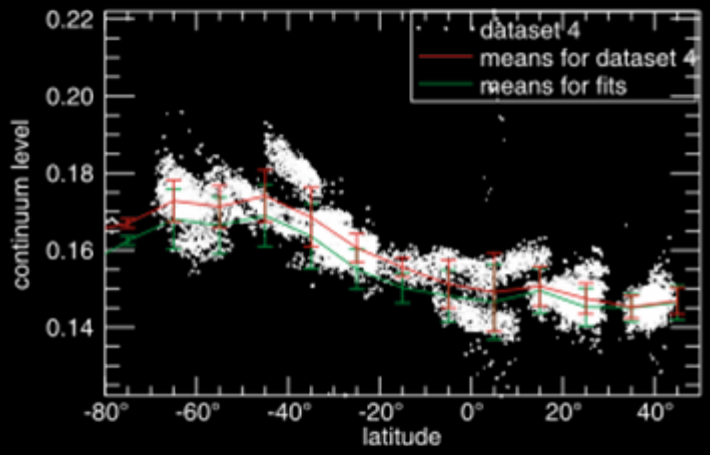


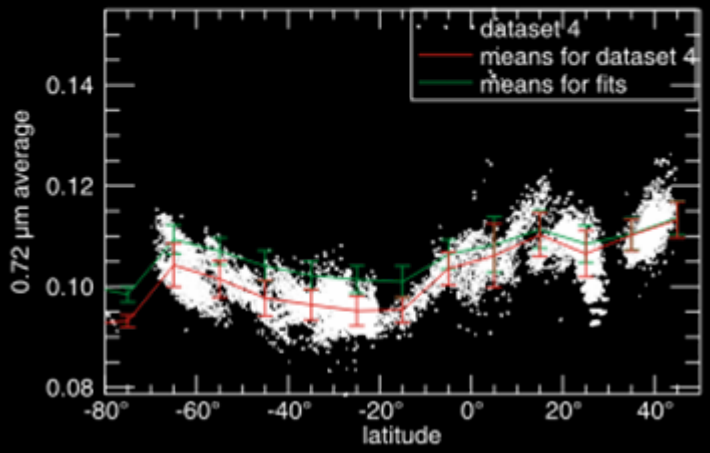




Variabilidade da névoa e do metano







Variações independentes indicam os efeitos diferentes da névoa e do metano

A profundidade relativa da banda em 0.61µm diminui para o norte

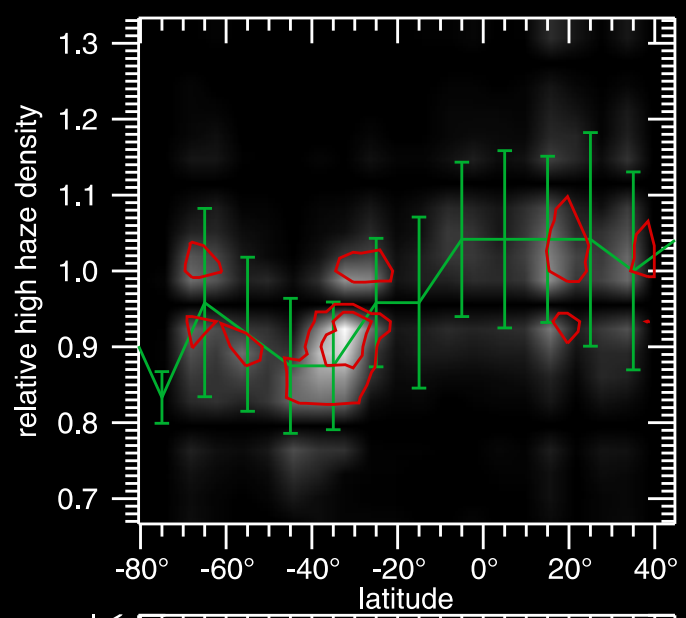
Uma diminuição nas bandas do metano pode indicar menos metano ou mais névoa (obscurece mais metano)

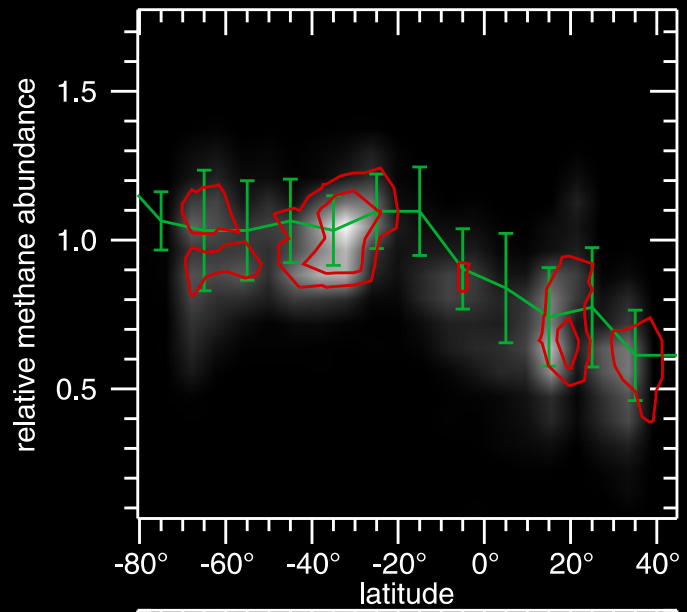
(Penteado *et al*., 2010)

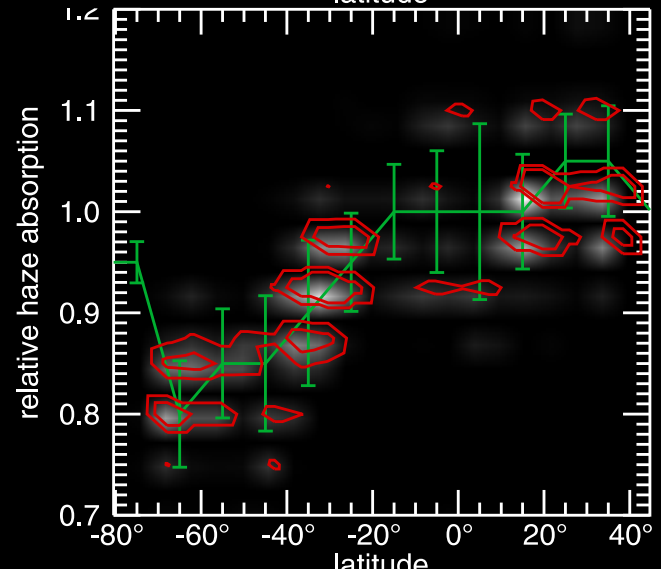
Ajustes em 3D

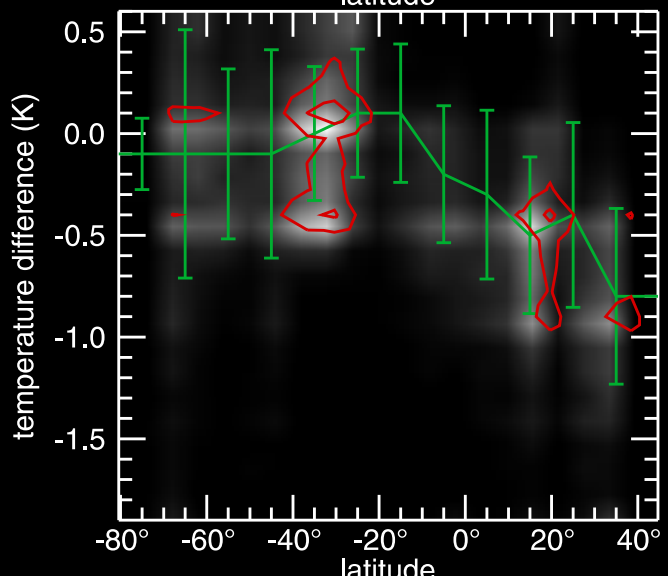
Espectros podem ser reproduzidos com uma queda de 50% no metano e aumento de 20% na névoa entre 25° S-35° N.

Equivalente a uma queda de 1.5 K na temperatura da tropopausa





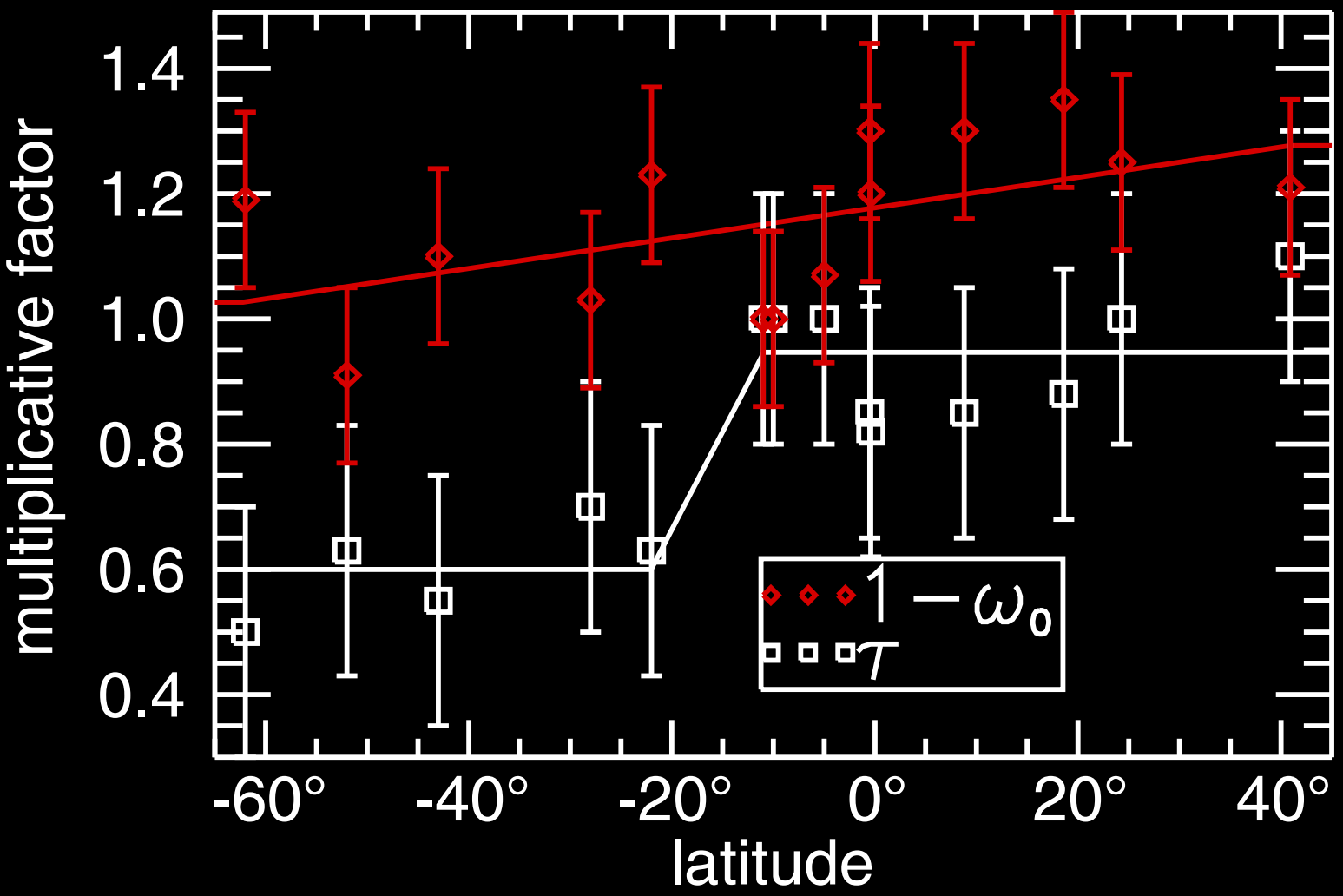




Ajustes em 2D

Espectros também podem ser reproduzidos sem variar o metano

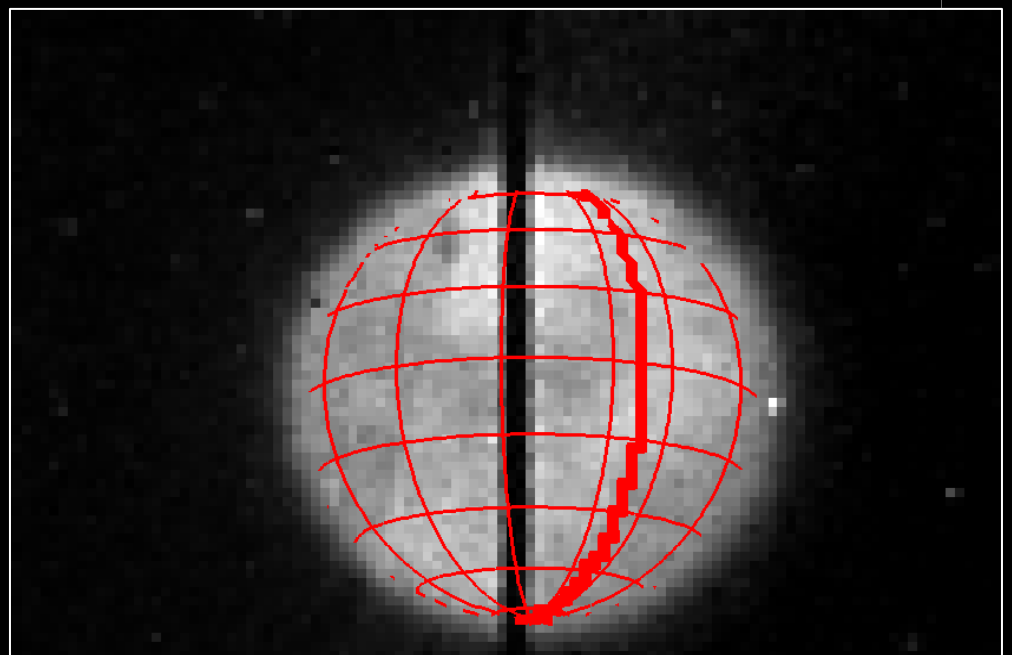
Resulta em um aumento de 60% na névoa de 20° S a 10° S

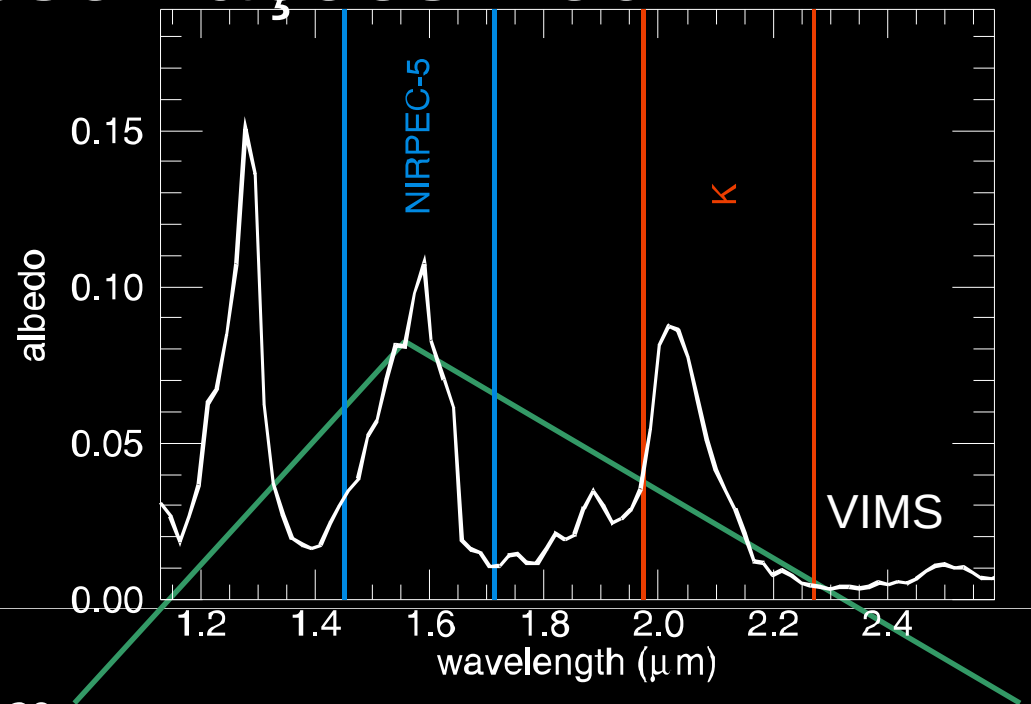


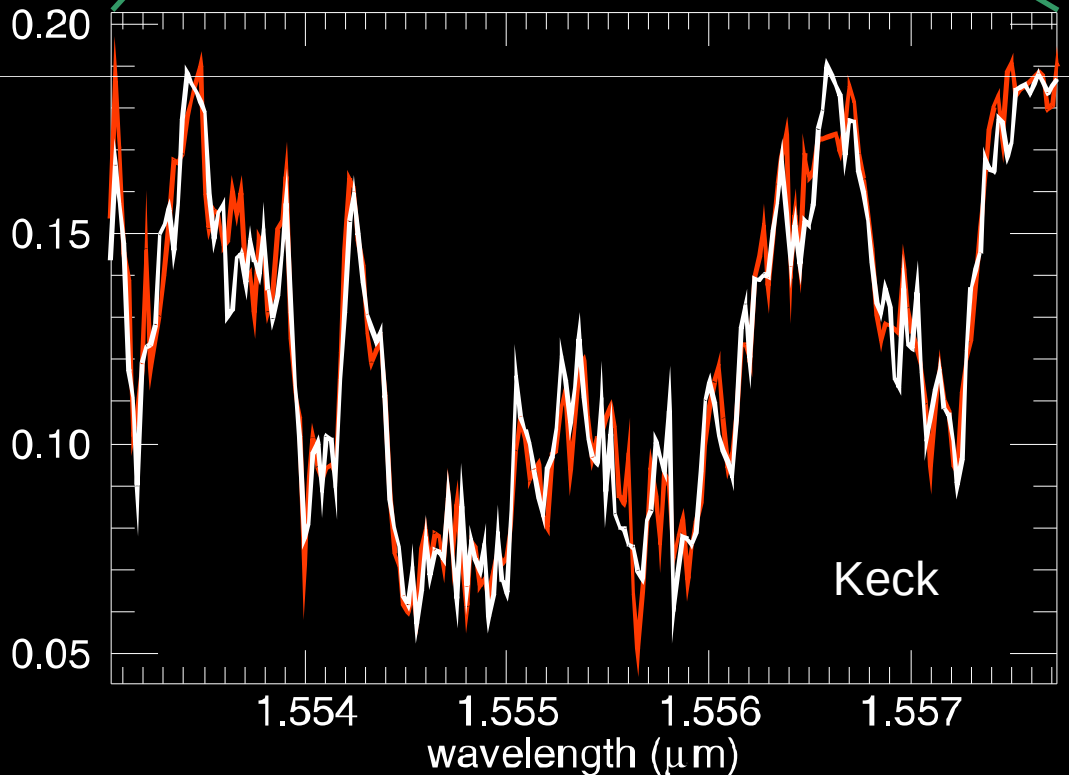
Variação do CH_4 com observações Keck

Efeitos mais fracos da névoa e linhas não saturadas para medir o metano com menor incerteza da névoa e a menores altitudes

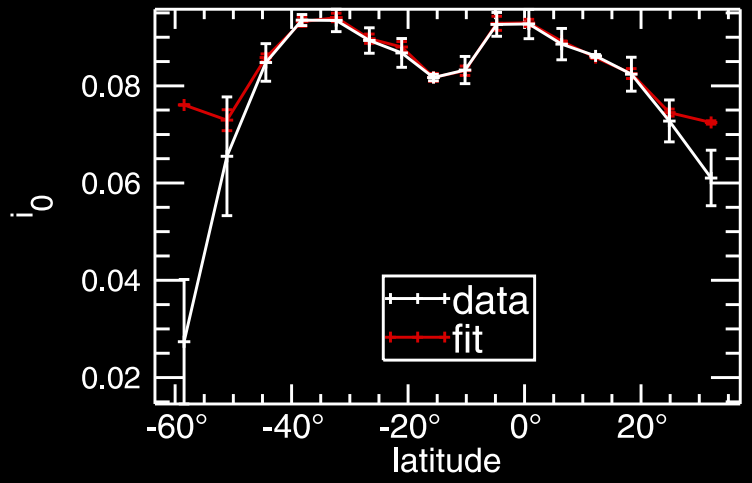
Resolução espectral e espacial suficiente para medir a variação do CH_3D

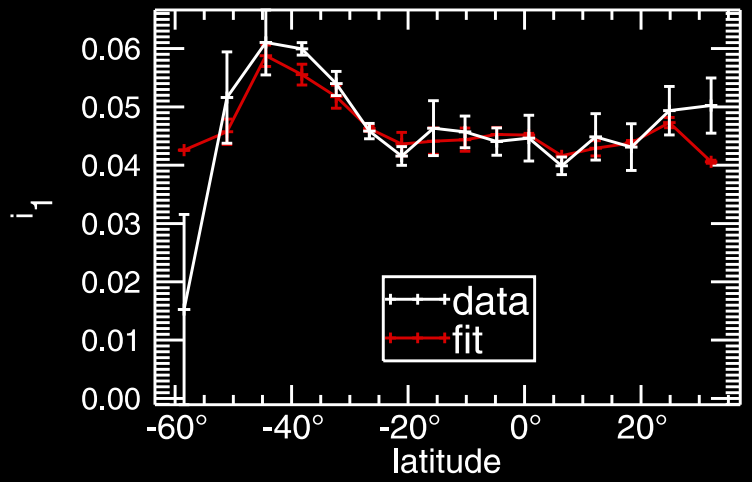


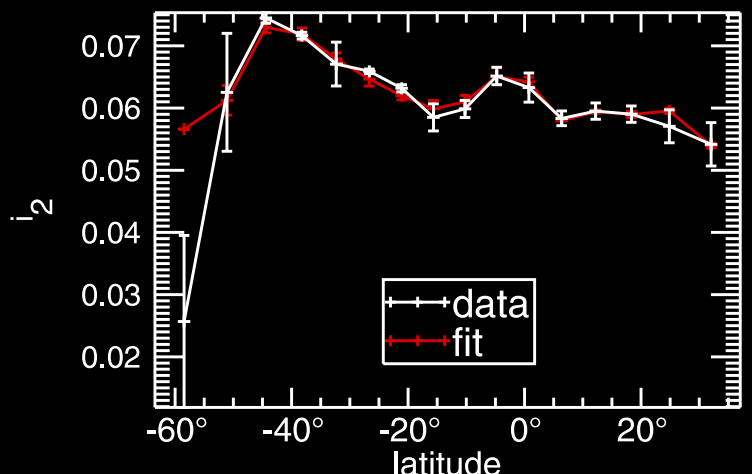


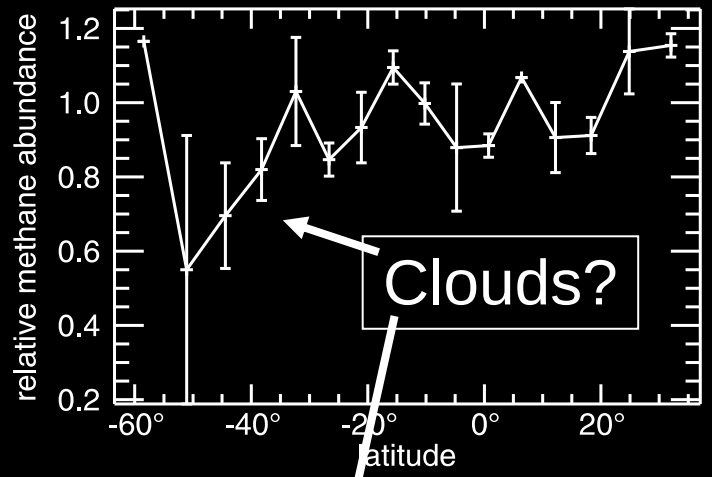


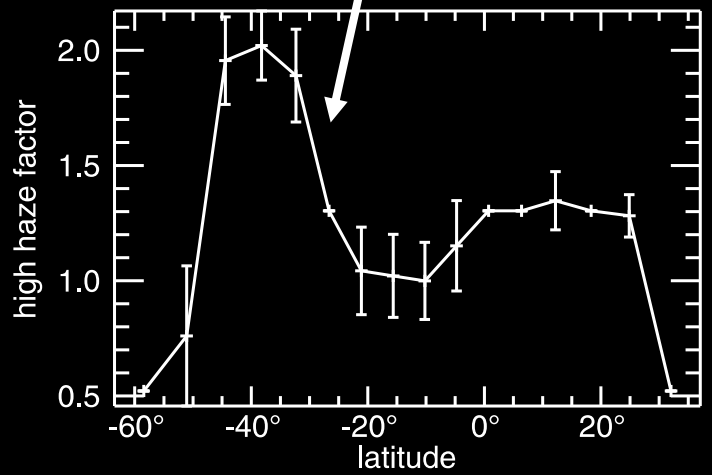
Perfis dos indicadores espectrais e parâmetros

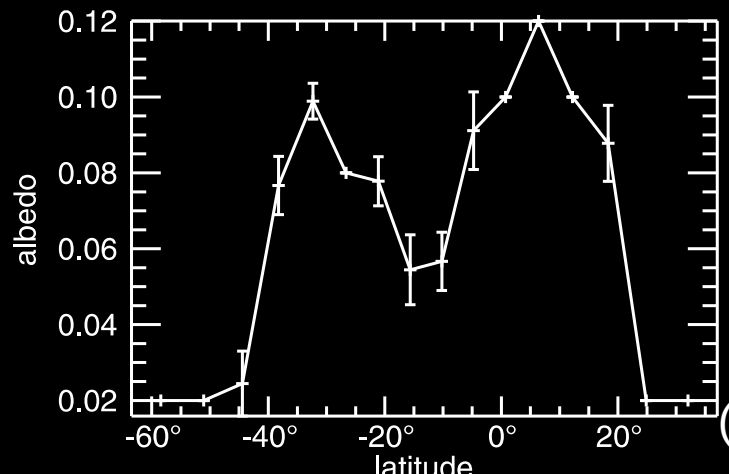










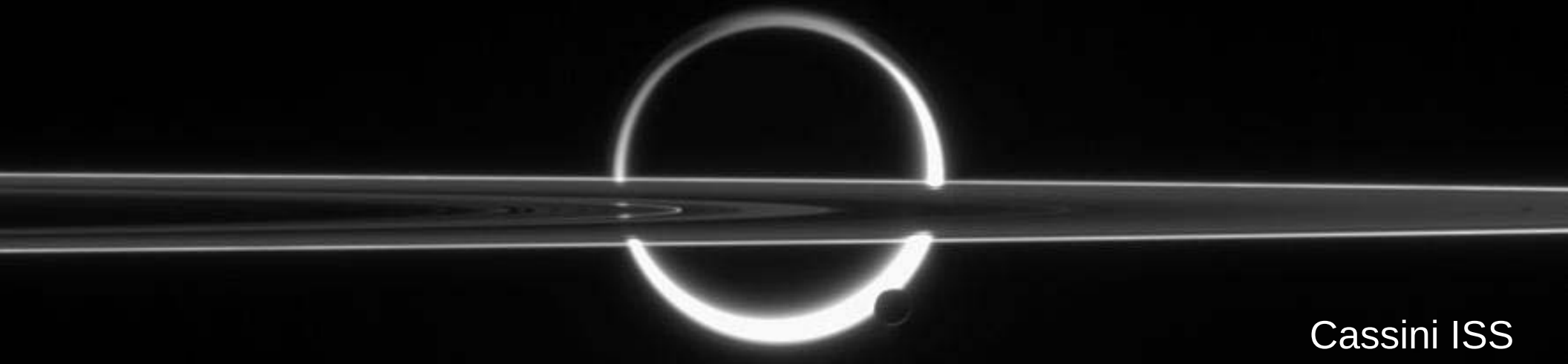


O metano não varia mais de 20% entre 35° S-35° N

(Penteado e Griffith, 2010)

Medidas da abundância do metano

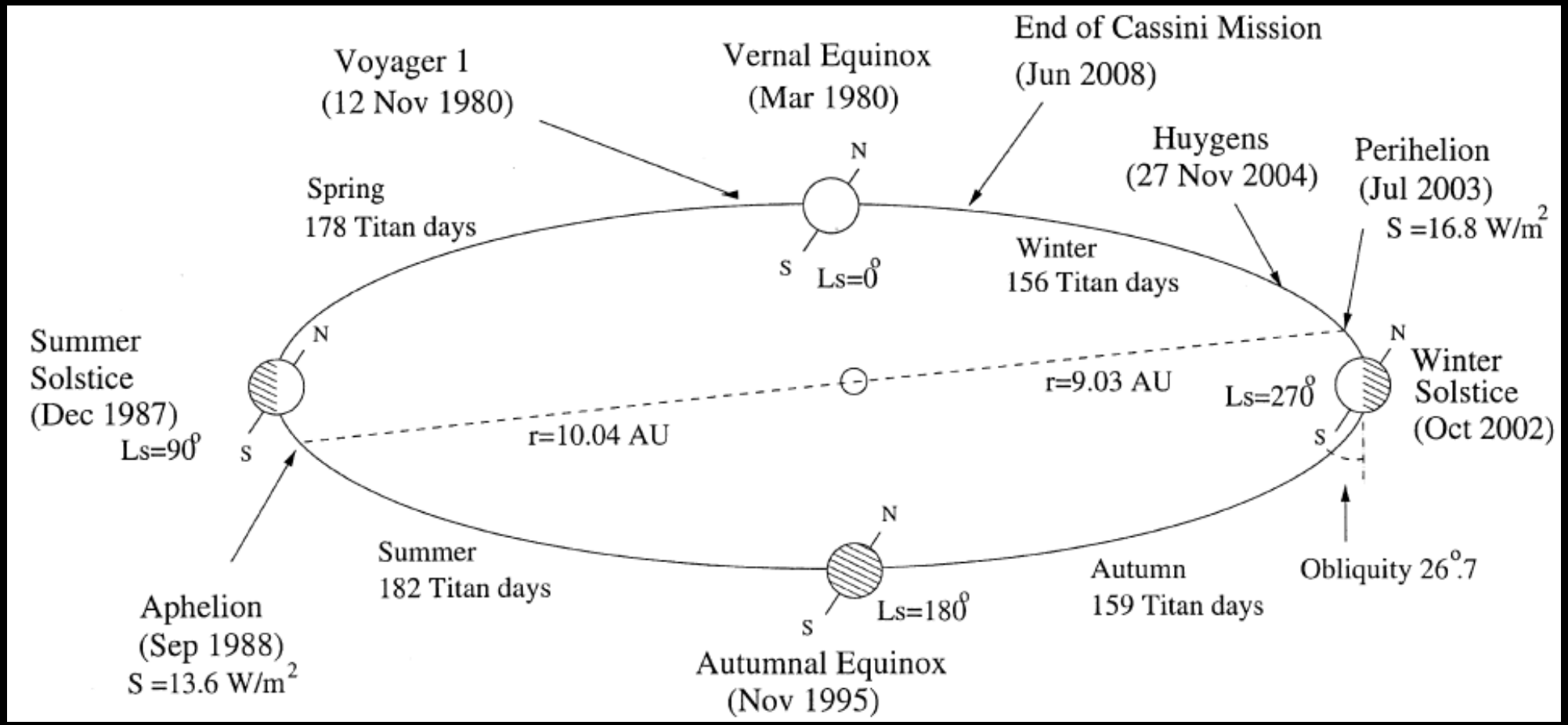
- Observações de terra do CH_3D medem o metano em Titã abaixo de 10 km de altitude
- O metano não varia além de 20% entre 35˚ S-35˚ N
- Espectros Cassini VIMS medem o metano próximo à tropopausa (20-50 km)
- Dados VIMS são consistentes com o metano constante e com aumento do metano para o sul



Cassini ISS

Estações do ano

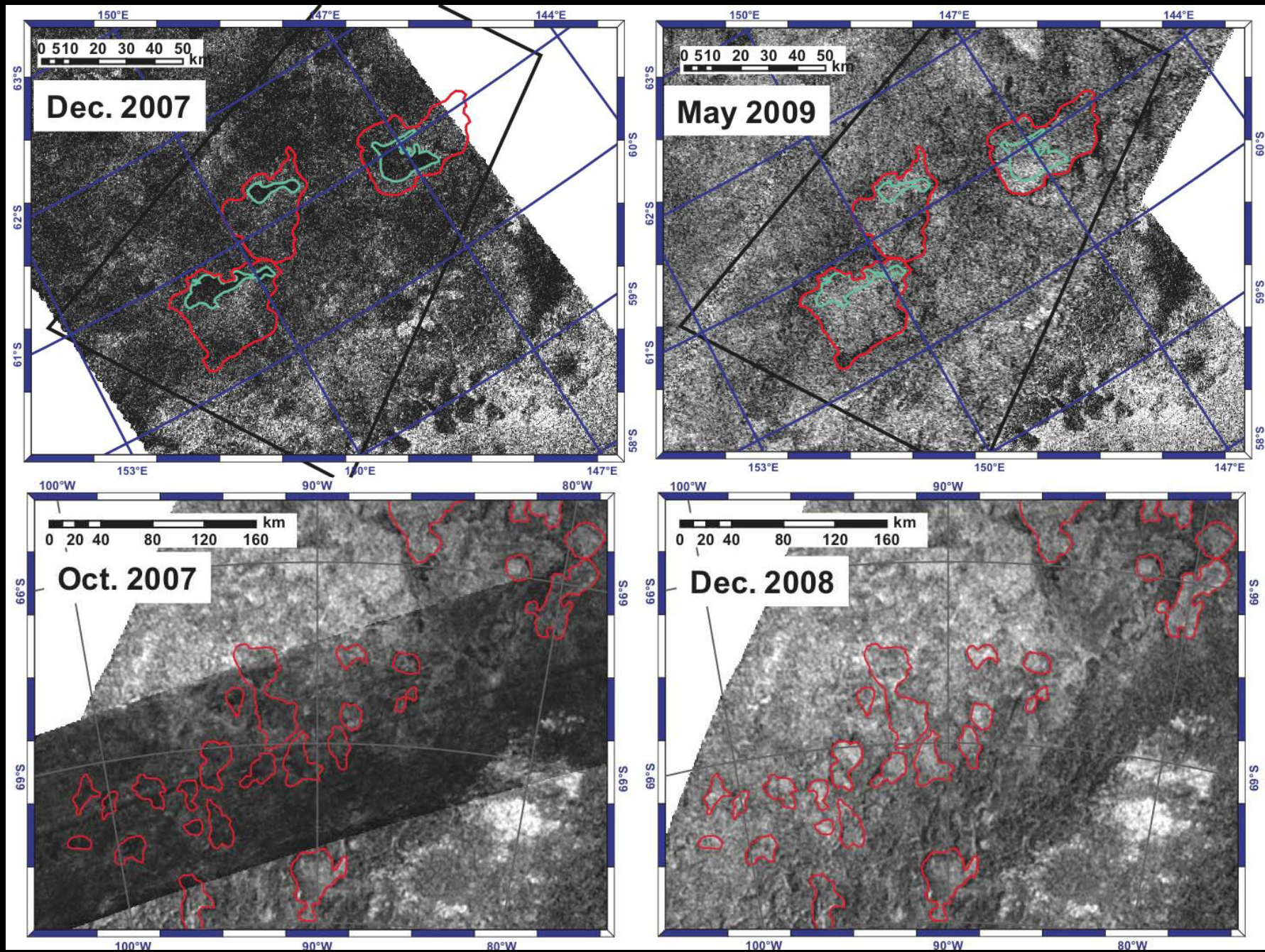
Observações Cassini: 2004-2008 (nominal), 2008-2010 (Cassini Equinox), 2010-2017 (Cassini Solstice).
Um ano de cobertura para a névoa (desde Pioneer/Voyager, 1980).
Meio ano de cobertura para a superfície/baixa atmosfera (desde 2000).



(Tokano *et al*., 1999)

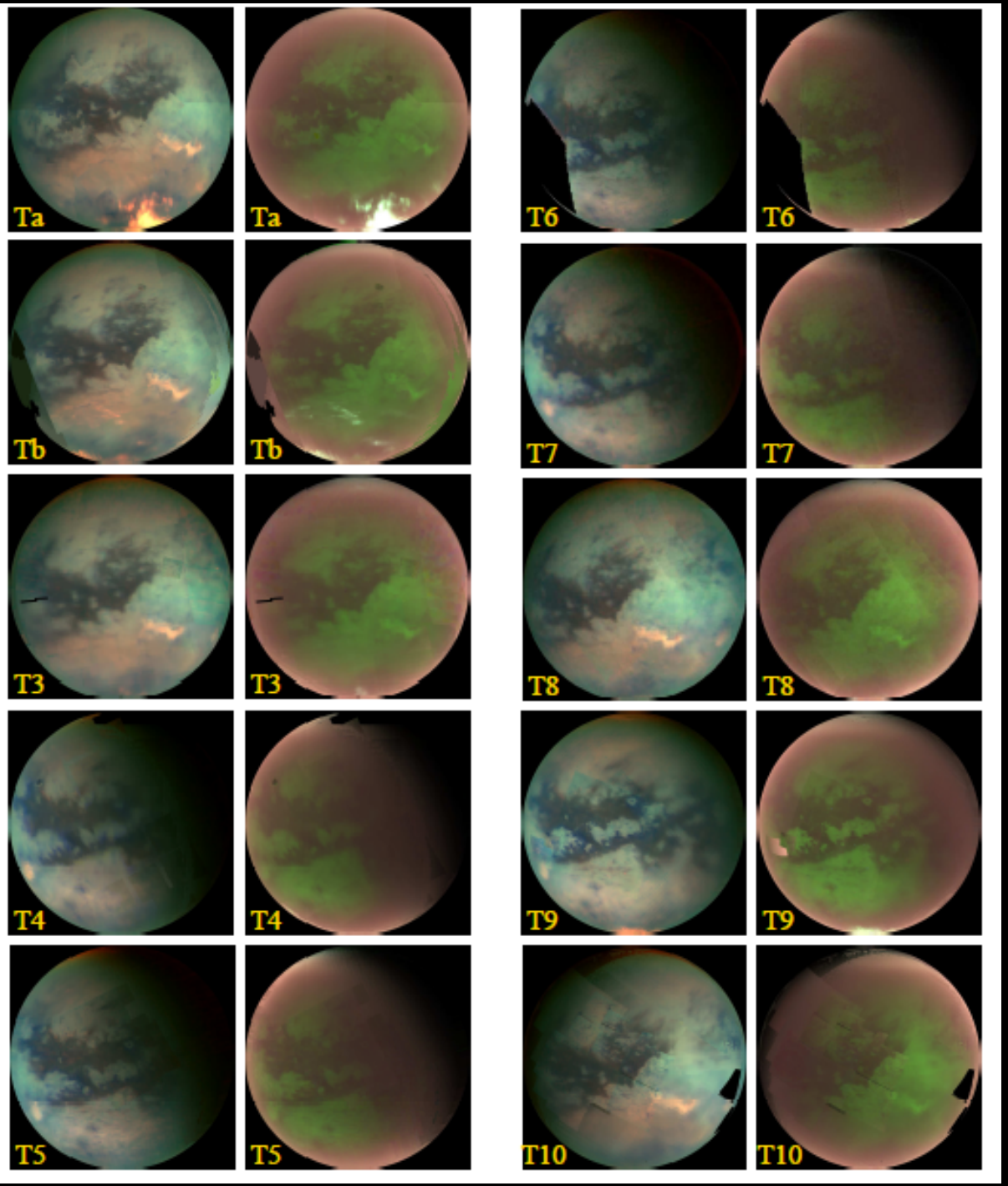
Estações do ano

Cassini RADAR

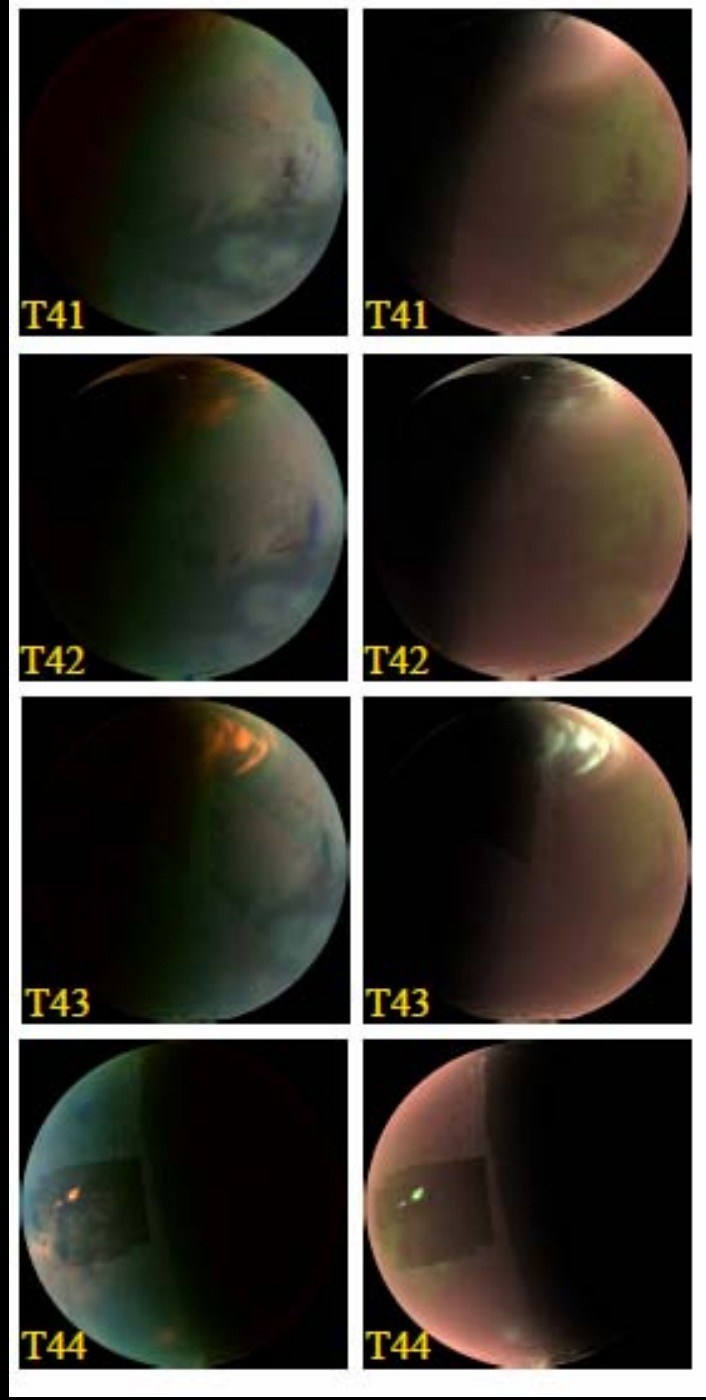


Estações do ano

2004/2005



2008



(Barnes *et al.*, 2009)

Biologia

Grandes moléculas (hidrocarbonetos e nitrilas) e polímeros orgânicos formam a névoa, que se acumula na superfície.

Meios líquidos (metano+etano) presentes na superfície.

Ambiente possivelmente mais comum que ambientes como a Terra: planetas de anãs M semelhantes a Titã, a distâncias ~1 UA.

Problemas:

Baixa temperatura: reações conhecidas são lentas.

Falta de água e oxigênio (presos no gelo de água).

Possíveis soluções:

Manto de água+amônia+metano, abaixo da crosta (Lorenz et al., 2008).

Derretimentos temporários por impactos/vulcanismo (Neish, 2008).

Química baseada em metano (McKay e Smith, 2005).

Reações mais relevantes a baixas temperaturas podem não ser conhecidas (Lunine e Faraday, em preparação).

Possibilidades futuras

Observações Cassini:

- 6 anos coletados, ~7 anos a coletar.
- Pouco analisadas.
- Pouco compreendidas.

Faltam modelos que expliquem as diferentes observações.

Faltam melhores modelos de transferência radiativa (para observações vis/iv).

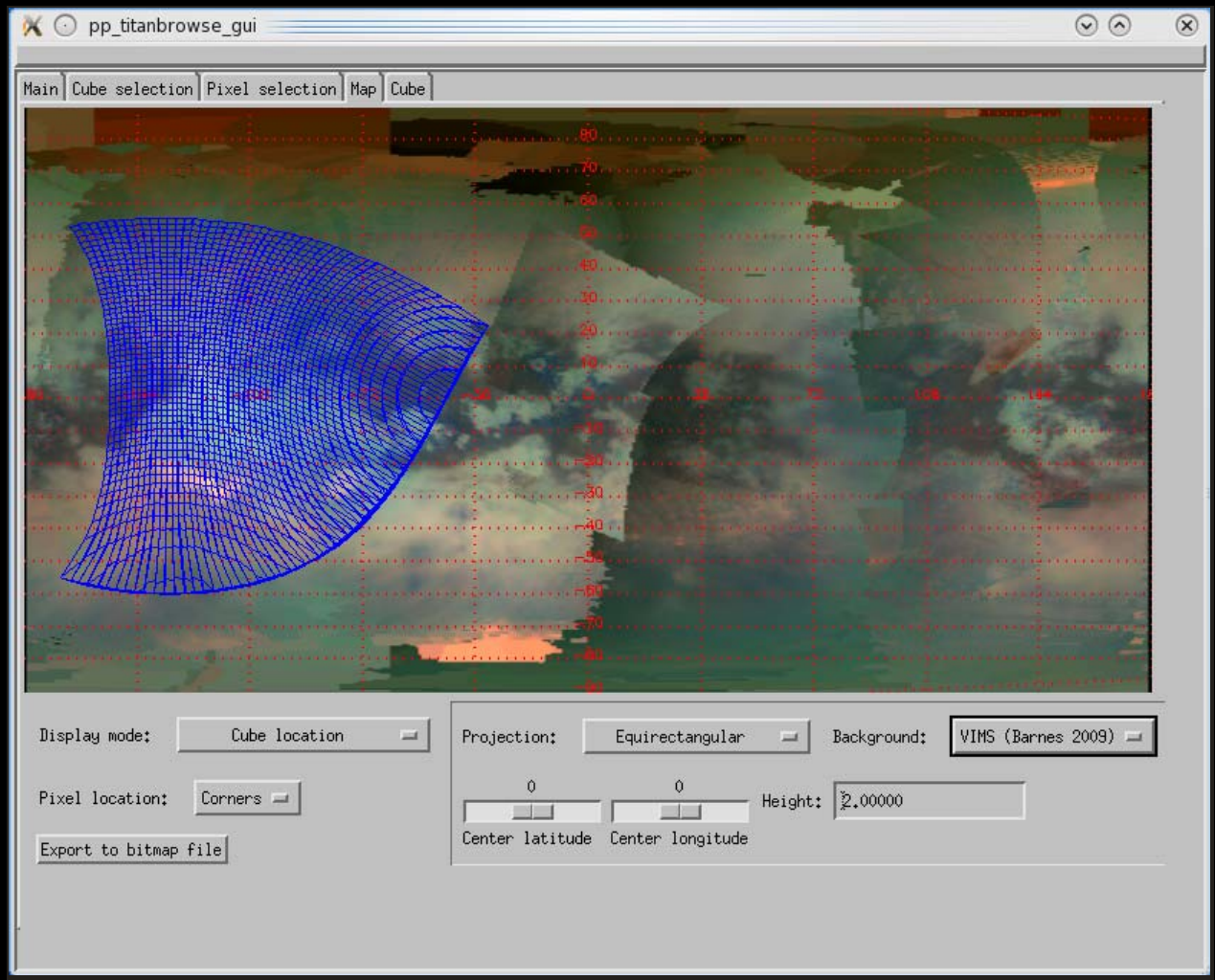
Faltam análises sistemáticas de todos os dados obtidos.

Base de dados de observações

~10^4 cubos VIMS, com ~10^7 espectros, ainda subutilizados.

Base de dados com todas as observações de Titã.

Seleção e visualização de observações por critérios instrumentais, geométricos ou fotométricos, avaliados dinamicamente.

Mais metadados e dados geométricos mais precisos que os cubos padrão.

Software e dados portáveis e compactos.