

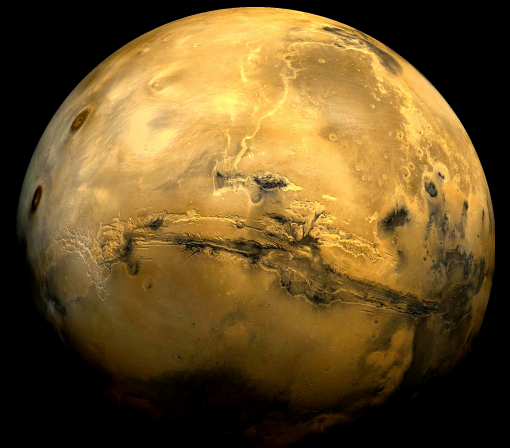
PARTE II



Marte e seus Canais
Percival Lowell (1906)

Spirit e Opportunity:

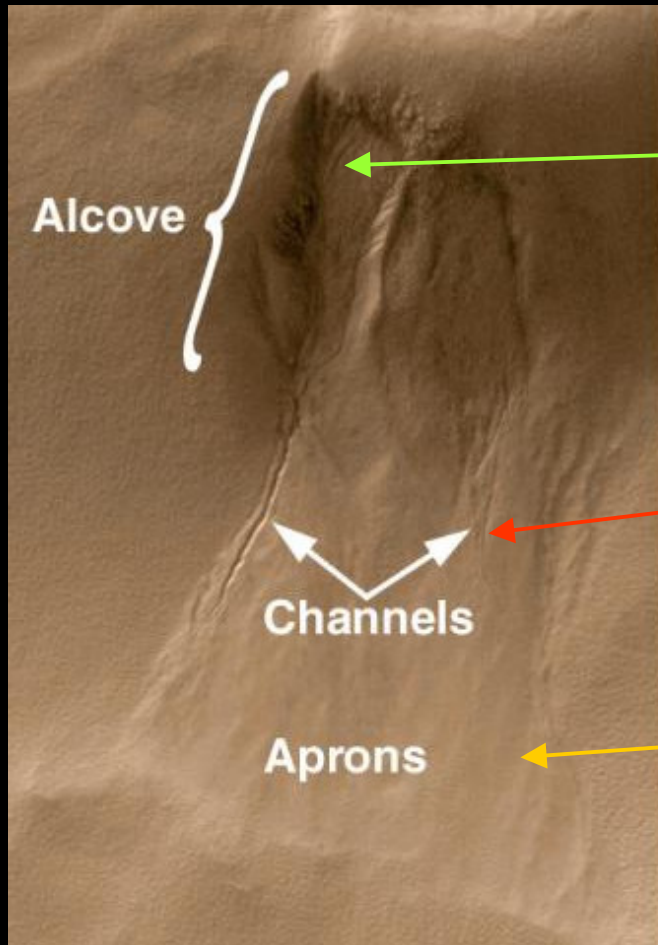
Missão cumprida !



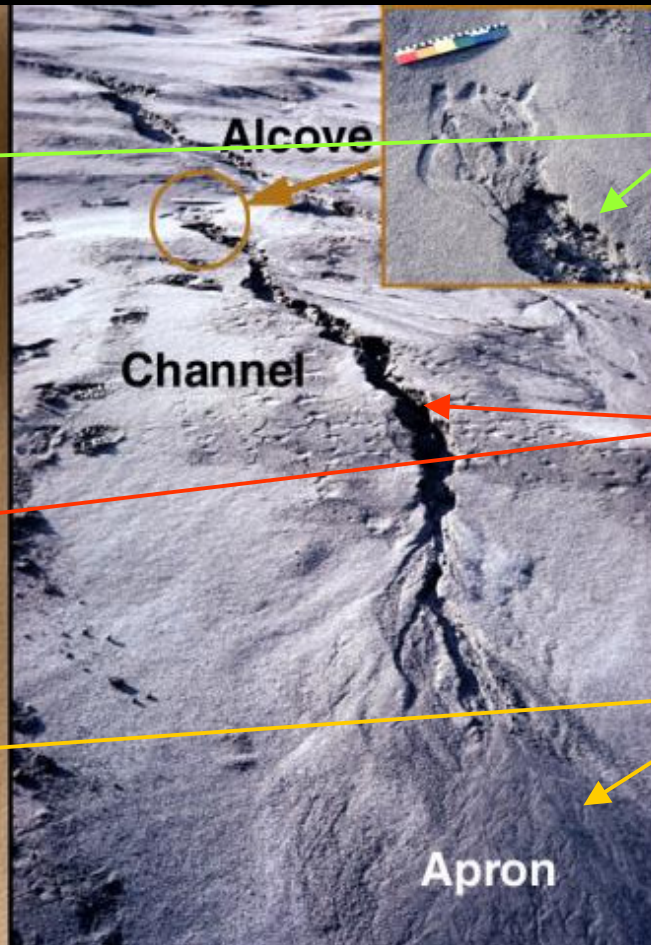
NASA

Enos Picazzio
IAG / USP

Hoje, onde está a água?



Água em Marte
mais seco e frio
líquida não pode existir por
muito tempo
não é vista, mas inferida de
figuras e similaridades com a
Terra



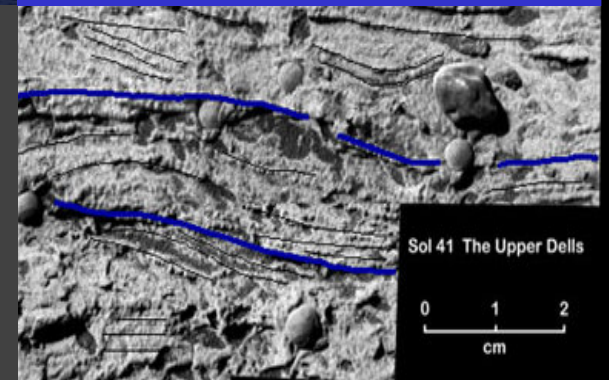
Água na Terra:
é o agente principal de
intemperismo e erosão
de chuva flui, infiltra e cria
vala

A alcóva forma-se acima do
local do escoamento enquanto
a água emerge e mina o
material do qual está
escoando.

Canal formado pela
ação do fluxo de
água e detritos

Depósitos de gelo e
detritos provindos das
regiões mais elevadas
do canal

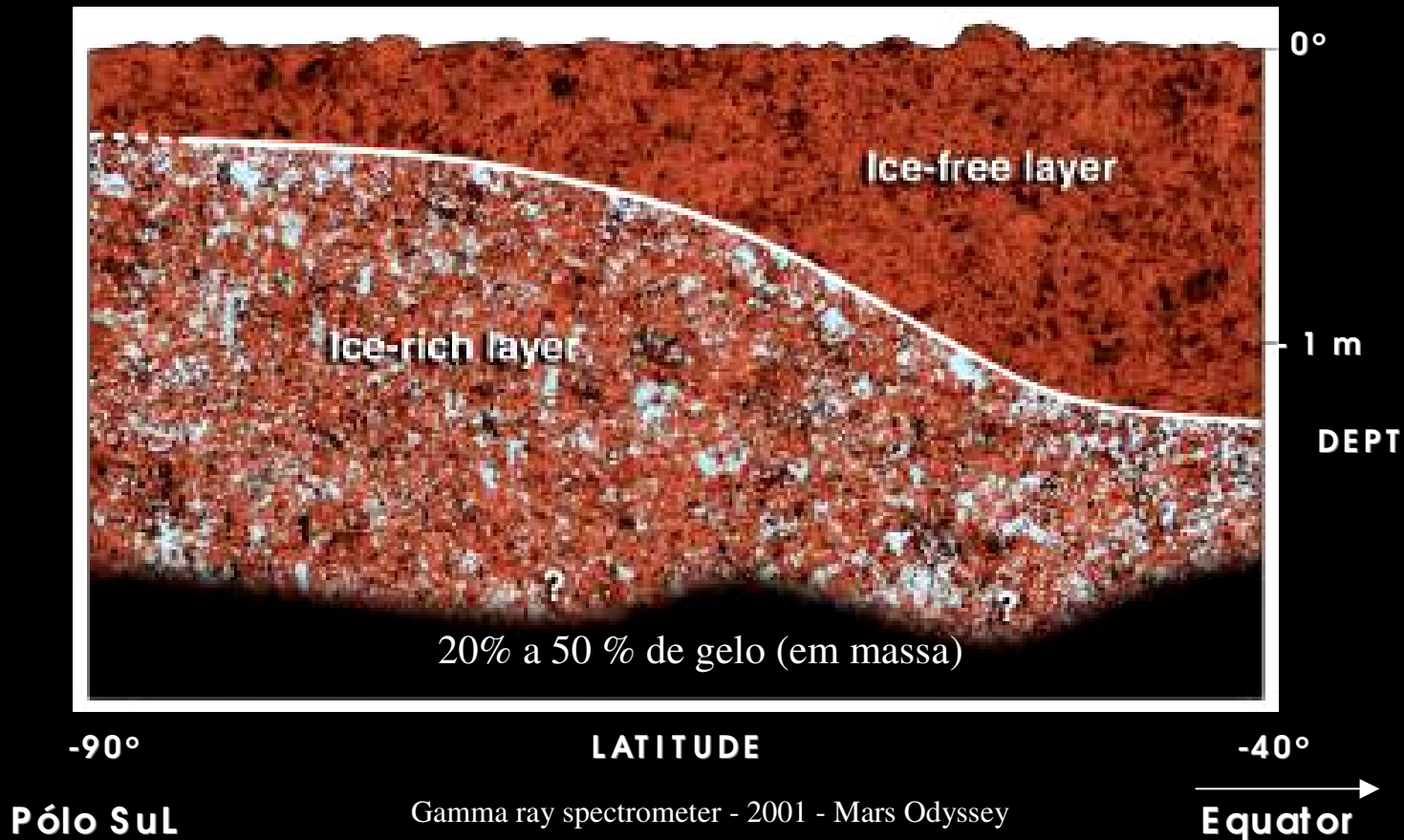
Sedimentos formados em água
corrente?



Fluxos de lama na Terra



Configuração possível



Camada rica em gelo torna-se mais rasa na direção do pólo sul.

Medidas de hidrogênio sugerem existência de gelo até ~1m abaixo da superfície.

Não se sabe se ou quão profundamente a zona rica em gelo continua no sub-solo.

Superfícies congeladas

Terra



Islândia

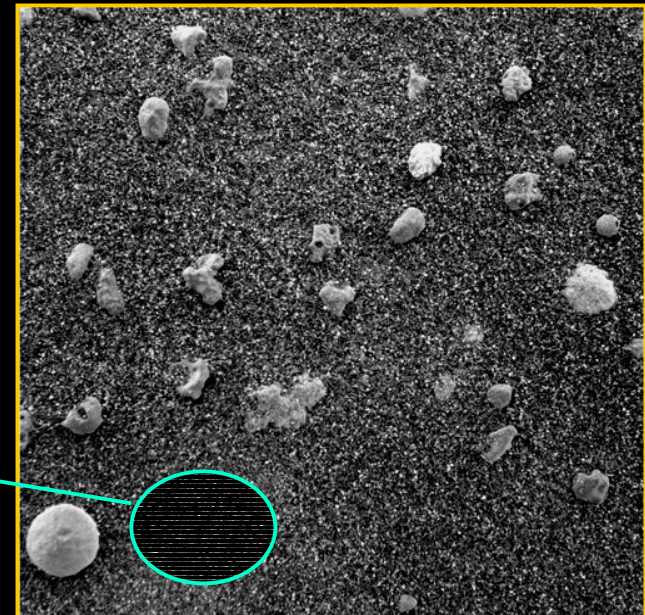
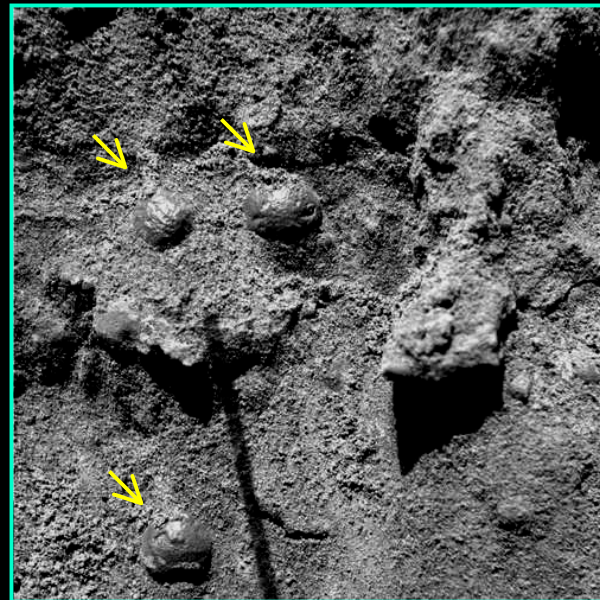
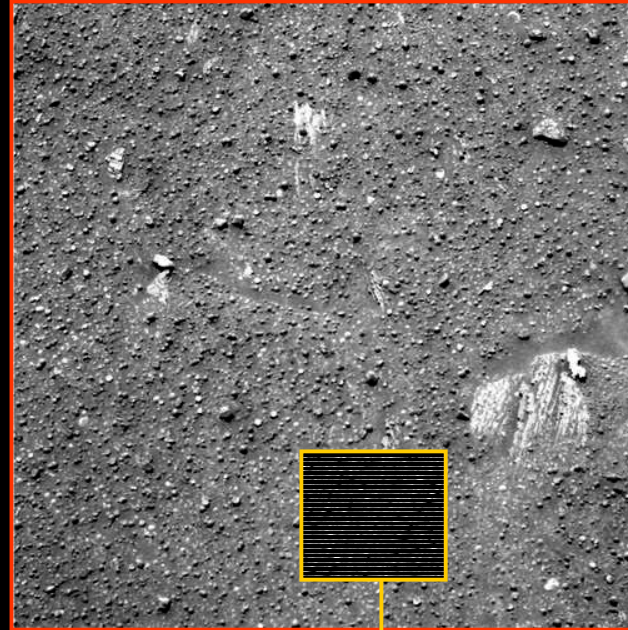
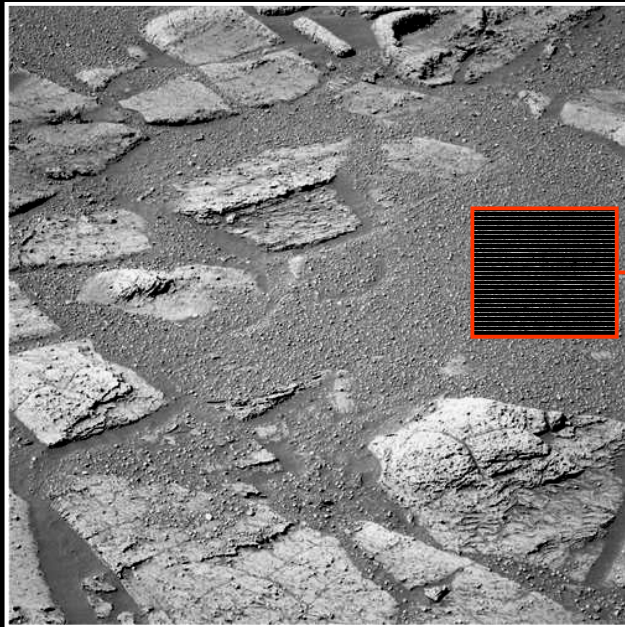
Marte



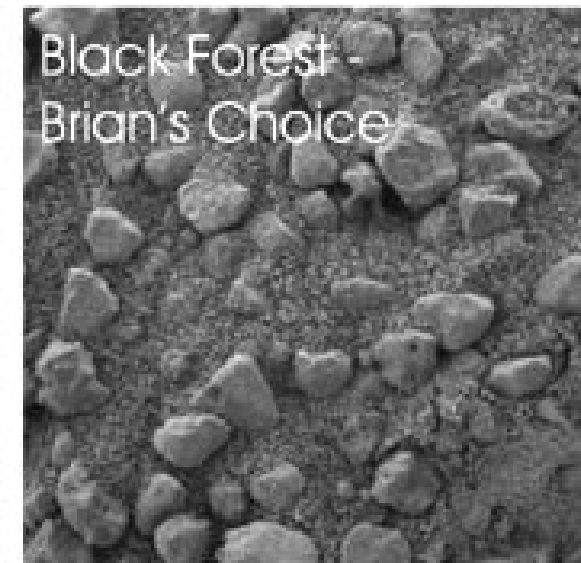
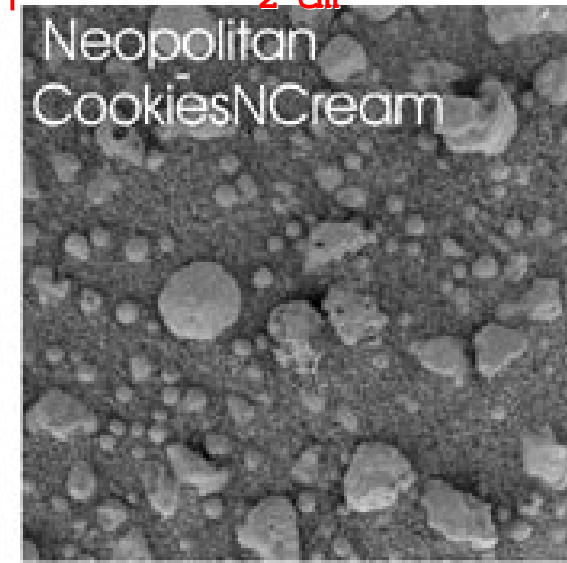
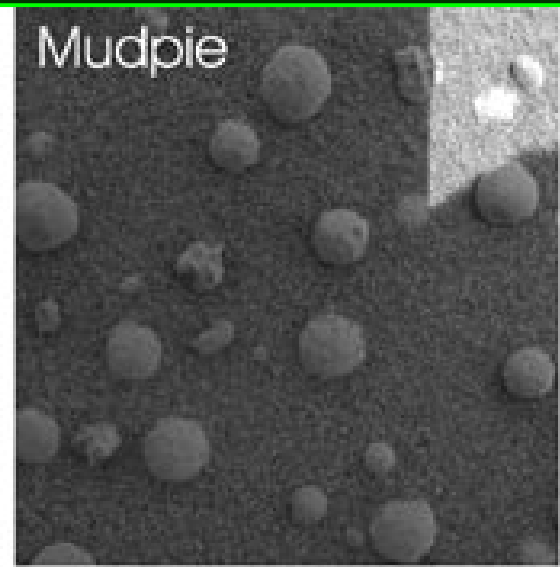
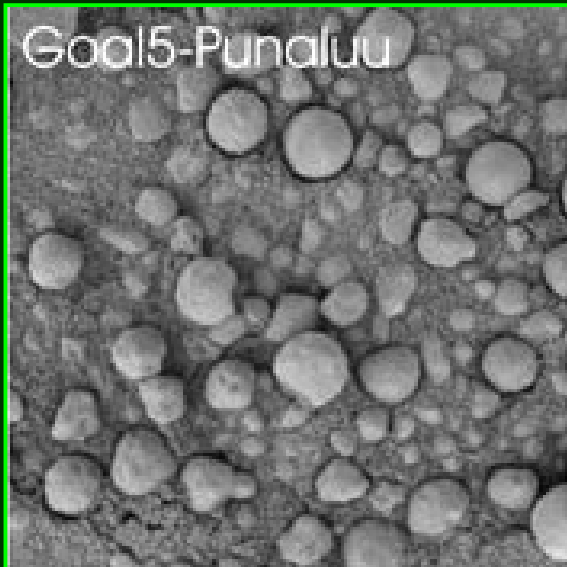
Cratera Gusev
(SPIRIT)

Superfícies congeladas de Marte

Opportunity



Glóbulos rochosos



2 cm

Glóbulos rochosos: tripleto

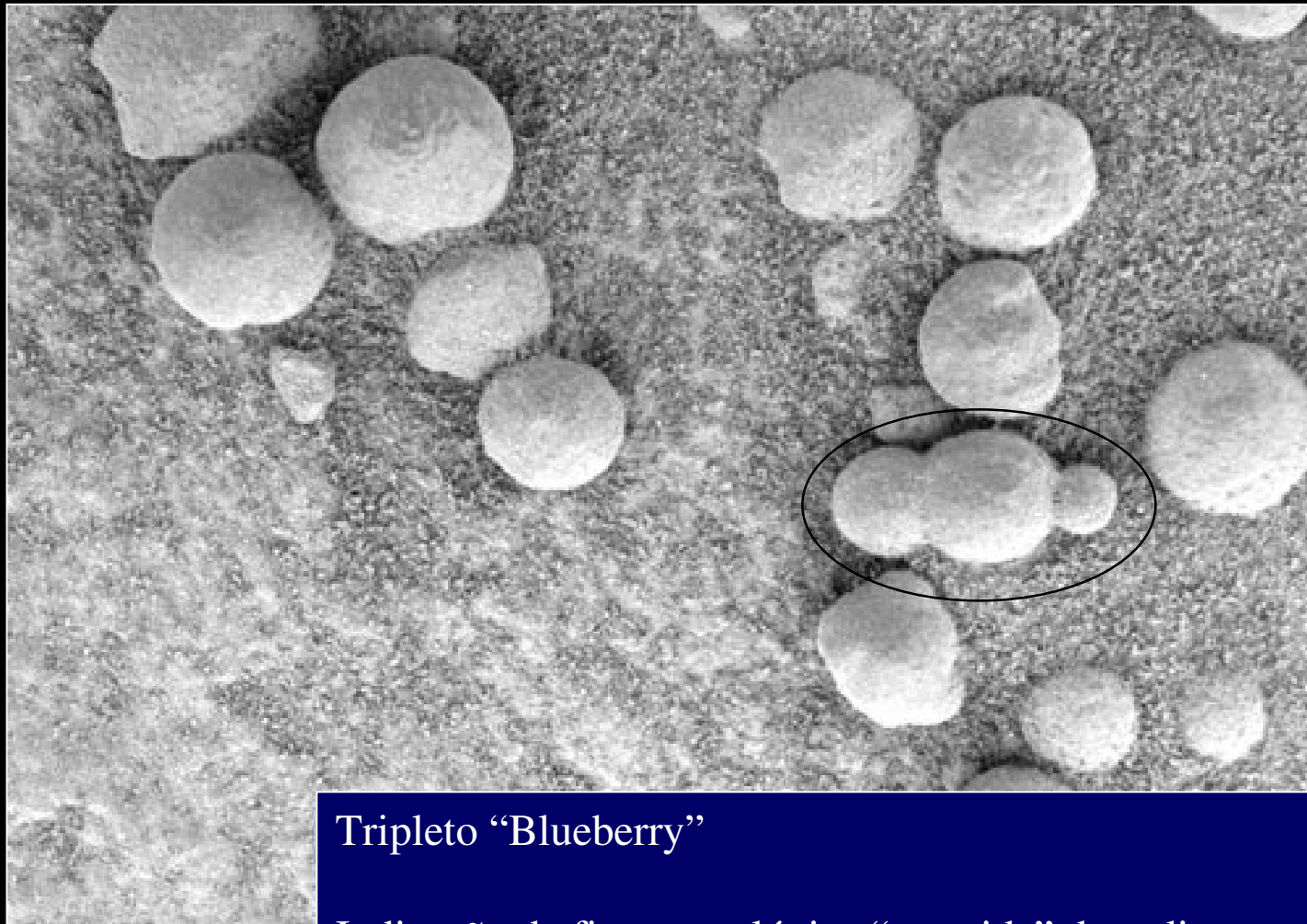


Imagem
microscópica,
tomada
próximo ao
local de
pouso da
Opportunity,
no sol: 46.

Tripleto “Blueberry”

Indicação de figura geológica “crescida” de sedimentos umidos.

Quando a formação ocorre a partir de esferas provindas de impacto ou ejeção vulcânica (lapilli) dificilmente ocorre em linha reta.

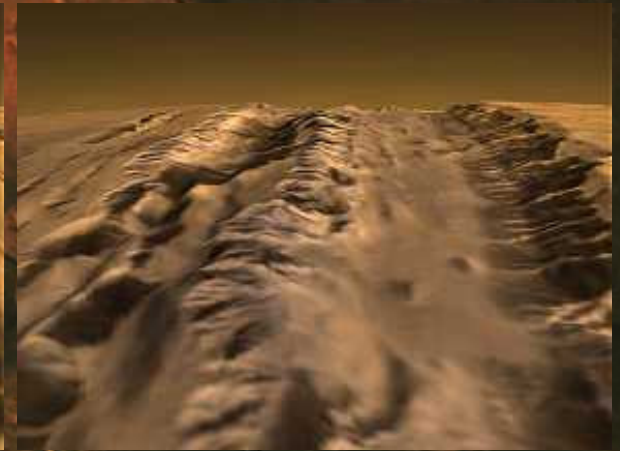
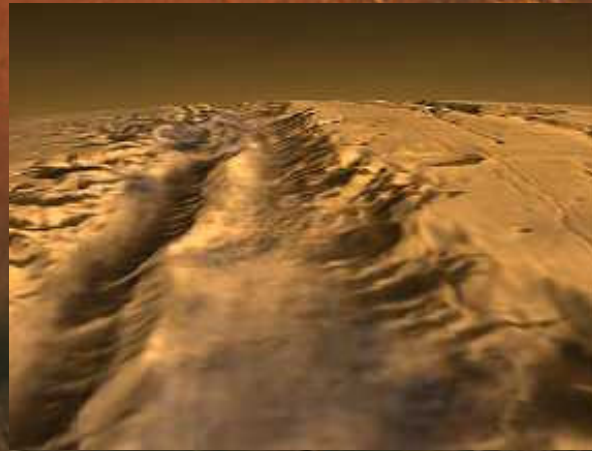
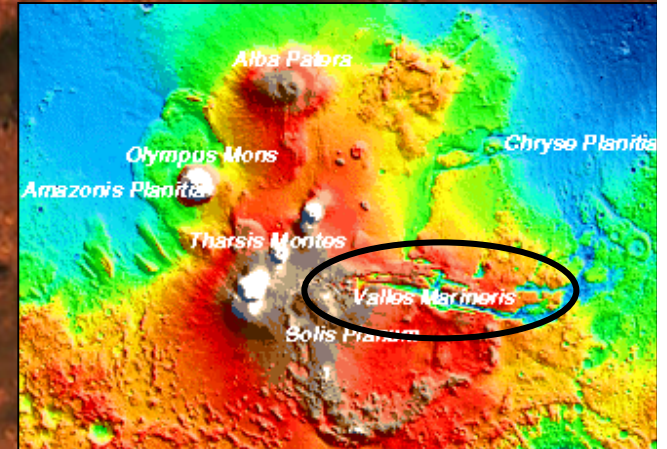
Vales “Marineris

U.S. Geological Survey

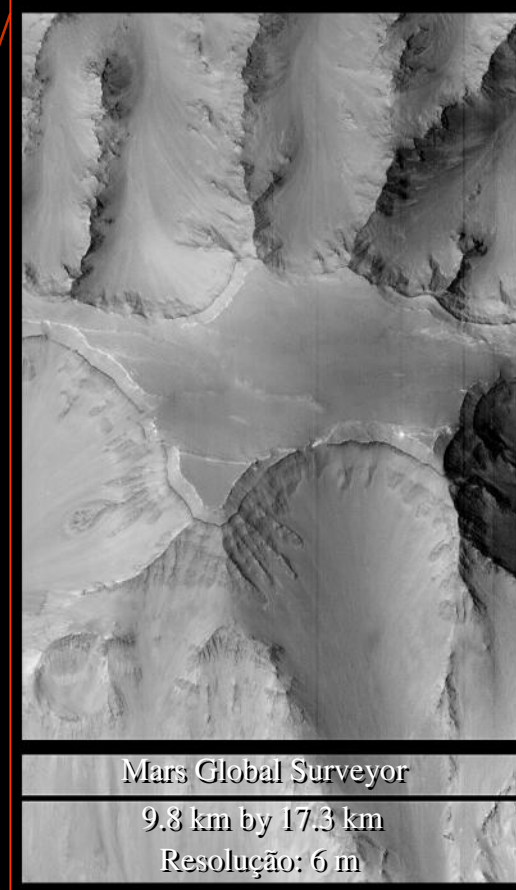
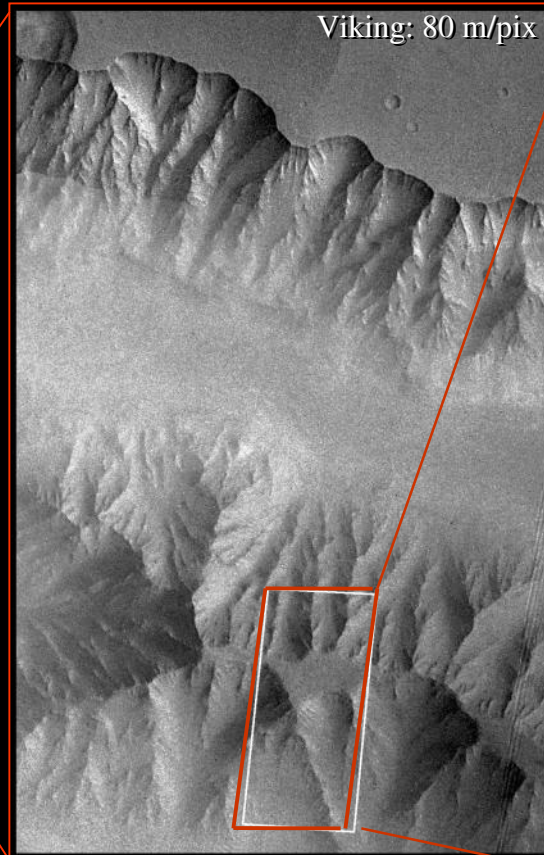
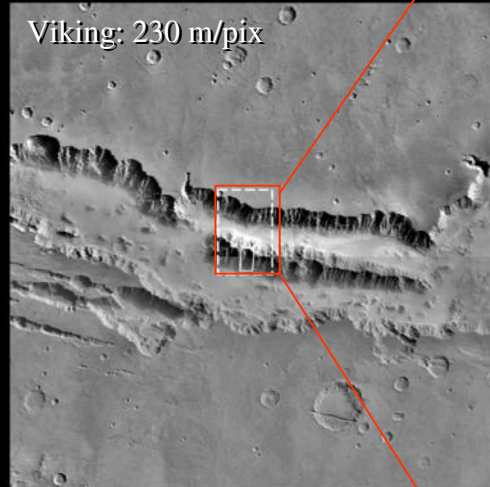
Nome dado em homenagem à sonda *Mariner 9*

Os “canyons” estendem -se por cerca de 1/5 da circunferência de Marte.

Surgiram de falhas da crosta logo no início da história marciana, e foram moldados por longo período de erosão eólica? Ou erosão fluvial? Ou erosão por gases aquecidos e rochas vulcânicos?



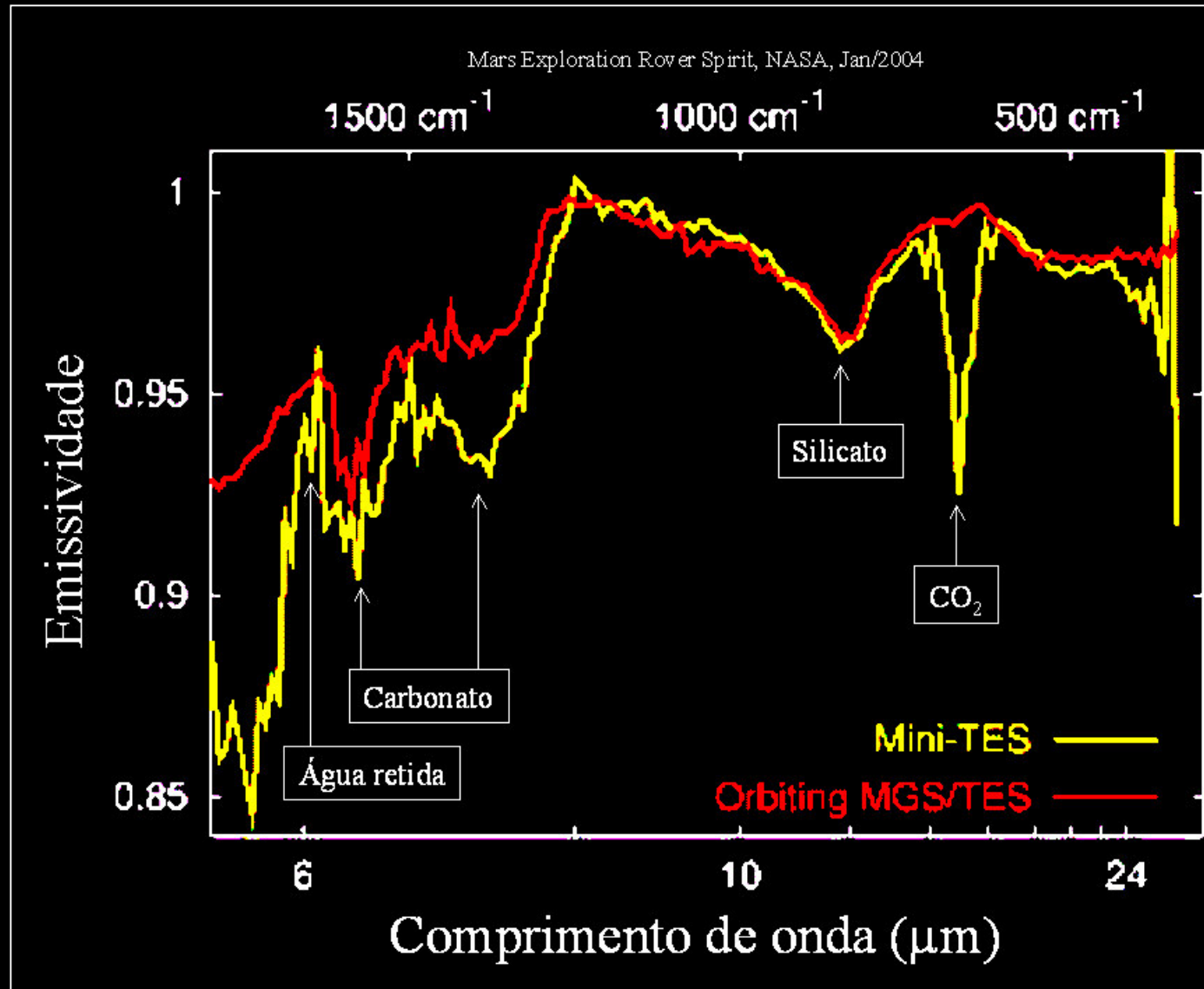
Vales “Marineris



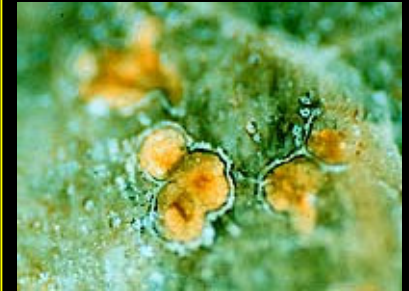
As camadas rochosas terrestres formam-se de processos sedimentares (Grand Canyon - Arizona) e de processos vulcânicos (Waimea Canyon - Kauai).

Origens semelhantes são possíveis para as rochas sedimentares marcianas vistas nestas imagens. Em um ou outro caso, a espessura total das camadas vistas nesta imagem sugere processos geológicos complexos e extremamente ativos.

Provas da existência de água?



Meteorito marciano ALH 84001



esferas (0,15mm)
de carbonato

Carbonatos: rochas e minerais que contém " CO_3 " (Ca CO_3 , Mg CO_3 ...). Na Terra são formados por processos puramente químicos, ou através de organismos vivos.

Ambos os casos exigem a presença da água líquida.

Nuvens de gelo

Nuvens parecidas com “cirrus” terrestres são vistas na atmosfera marciana.

O vapor d’água se resfria e congela formando nuvens parecidas com cirrus.

Durante tempestades de poeira as nuvens se dissipam devido ao aquecimento da poeira.

Estudando a quantidade, localidade e longevidade dessas nuvens é possível compreender o mecanismo pelo qual a água da superfície vai para a atmosfera e vice-versa.

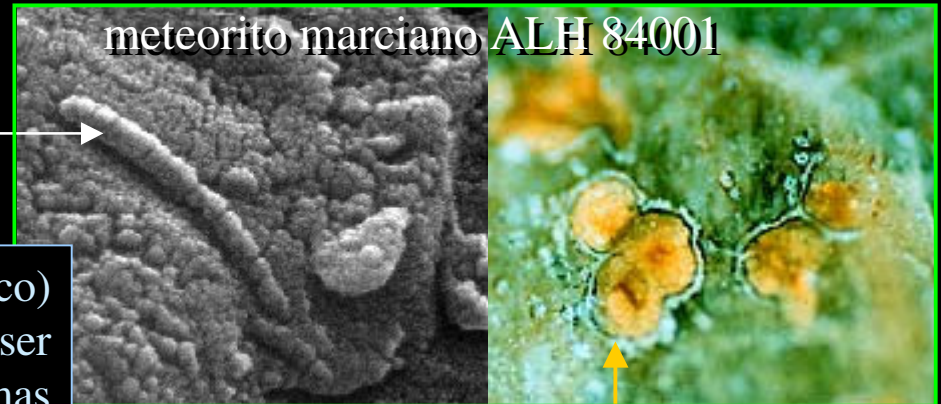
Os orbitadores que lá estão fornecem muitas imagens excelentes das nuvens, mas estão limitados pelo período do dia e local da órbita que observam.



NASA

Provas da existência de água e/ou vida?

A evidência mais contundente de possível vida fóssil marciana
(100 x mais fino que fio de cabelo)



Esferas (0,15mm) de carbonato

Grãos de *magnetita* (óxido de ferro cúbico) incrustados nos glóbulos de carbonatos. Podem ser formados por processo orgânico ou inorgânico, mas as propriedades são diferentes para cada caso.

Magnetita orgânica: (a) cristais têm tamanhos bem definidos, (b) são quimicamente puros; (c) têm estrutura e morfologia típicas; (d) agrupam-se em longas cadeias.

1/4 da magnetita encontrada no ALH84001 tem essas propriedades, e são semelhantes às produzidas por cadeia de bactérias conhecida por MV-1.

Cristais de Magnetita em uma
Bactéria Magnetotática
Nature 343, page 213 (1990)



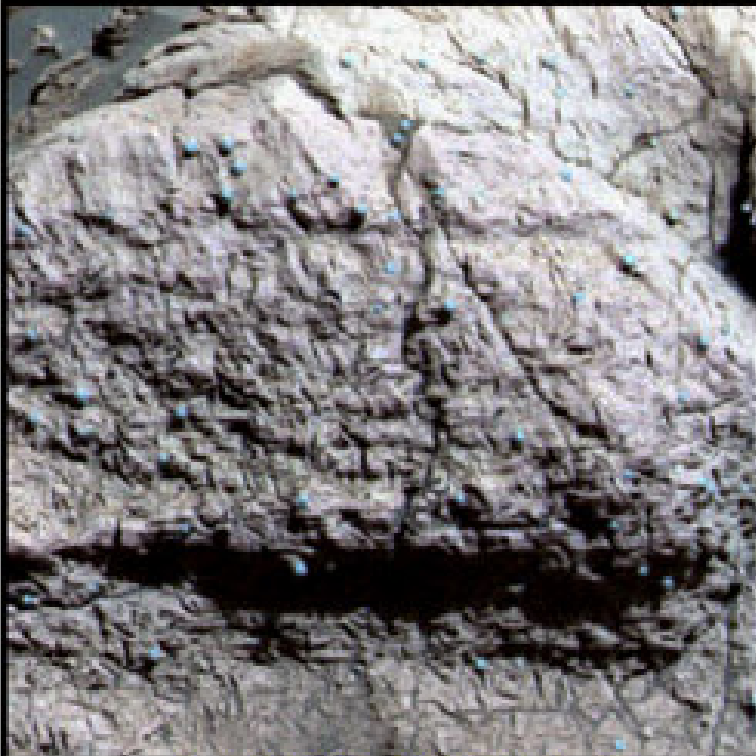
Carbonatos: rochas e minerais que contêm "CO₃" (Ca CO₃, Mg CO₃...).

Na Terra são formados por processos puramente químicos, ou através de organismos vivos. Ambos os casos exigem a presença da água líquida. Organismos multicelulares produzem conchas com os carbonatos.

Uma cadeia possível:

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \diamond \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{silicatos} \diamond \text{Ca}^{++} + \text{HCO}_3 + \text{planctons} \diamond \text{CaCO}_3 \diamond \text{fundo dos oceanos e mares.}$

A Hematita

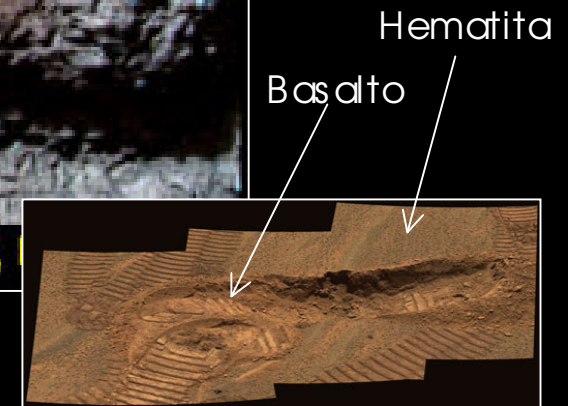


Sol 27B Pre-RAT, Hole 2



Sol 35B Post-RAT, 1

Opportunity, rocha "Guadalupe"

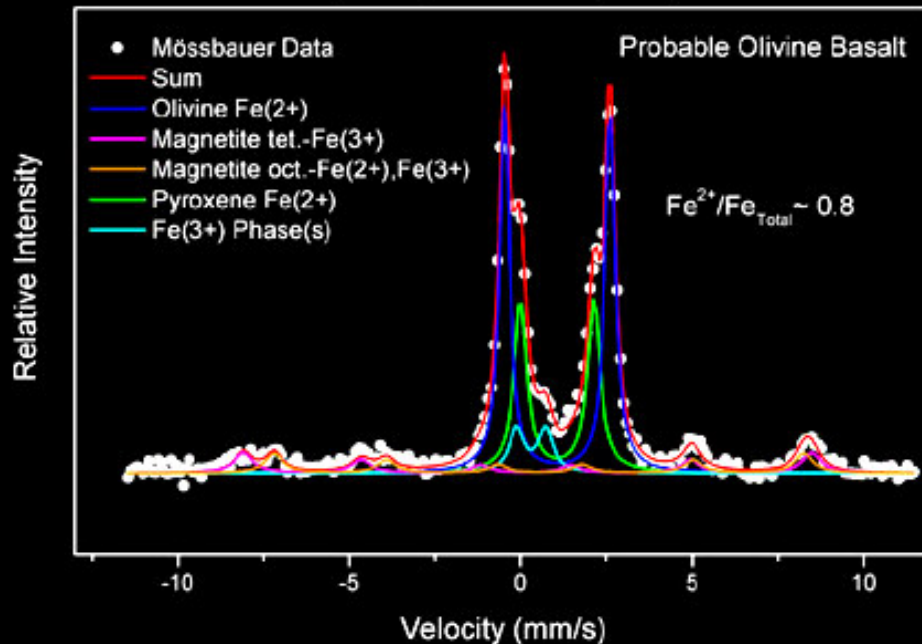


Cor e espectro da poeira sugerem cristais finos de hematita vermelha

- Hematita (Fe_2O_3): principal mineral inóxico de ferro, de cor cinza ou preta, forte brilho metálico e traço vermelho, usado tb. com o gemá, abrasivo e pigmento
- Impurezas comuns: Ti, Al, Mn, H_2O

Composição majoritária do solo

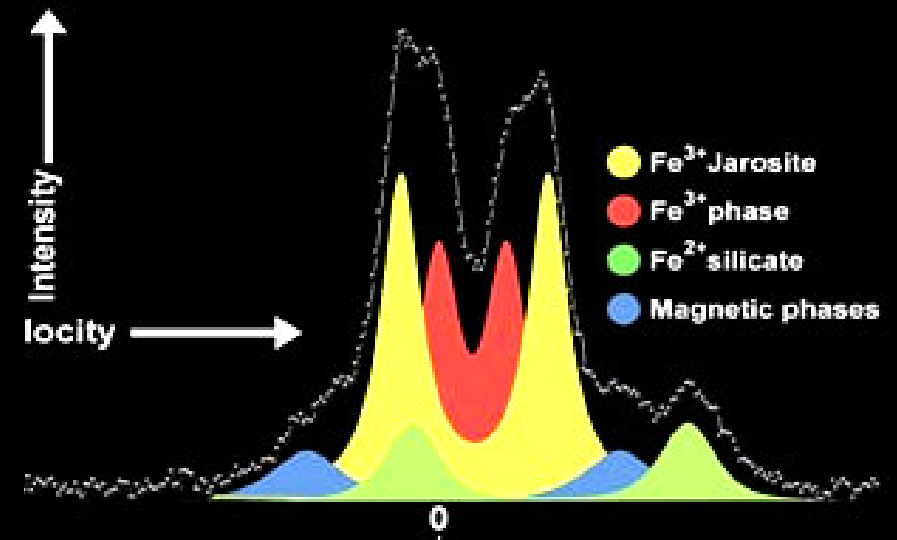
Mössbauer Spectrum of Adirondack Rock
(Sol 18, Gusev Crater, Mars)



Olivina:
rocha esverdeada
brilhante,
encontrada na lava.



Mössbauer Spectrum of El Capitan: Meridiani Planum
Jarosite: $(K, Na, X^{+1})Fe_3(SO_4)(OH)_6$



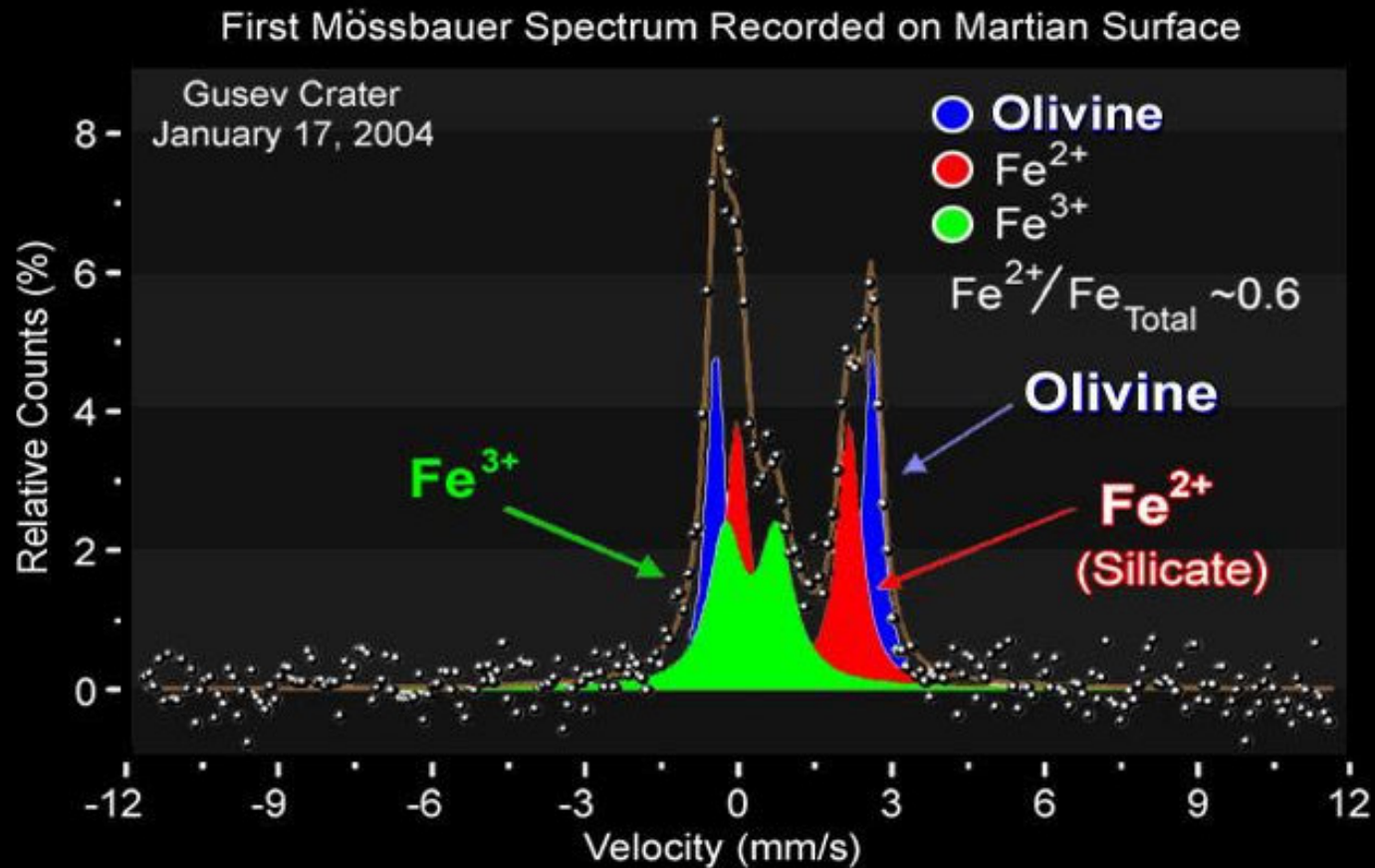
Fase jarosita: água contida na forma de hidroxila. É um indício de mecanismo conduzido pela água.

Fase magnética: atribuída ao óxido de ferro mineral

Fase silicato: indicativo de minerais contendo ferro duplamente ionizado (Fe 2+)

Fase de mineral: contém ferro triplamente ionizado (Fe 3+).

Composição majoritária do solo



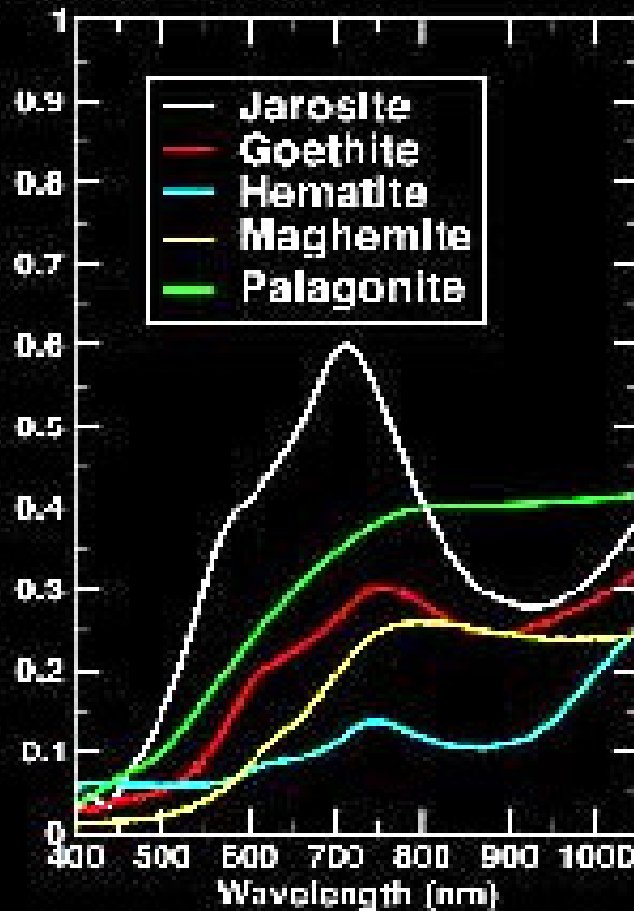
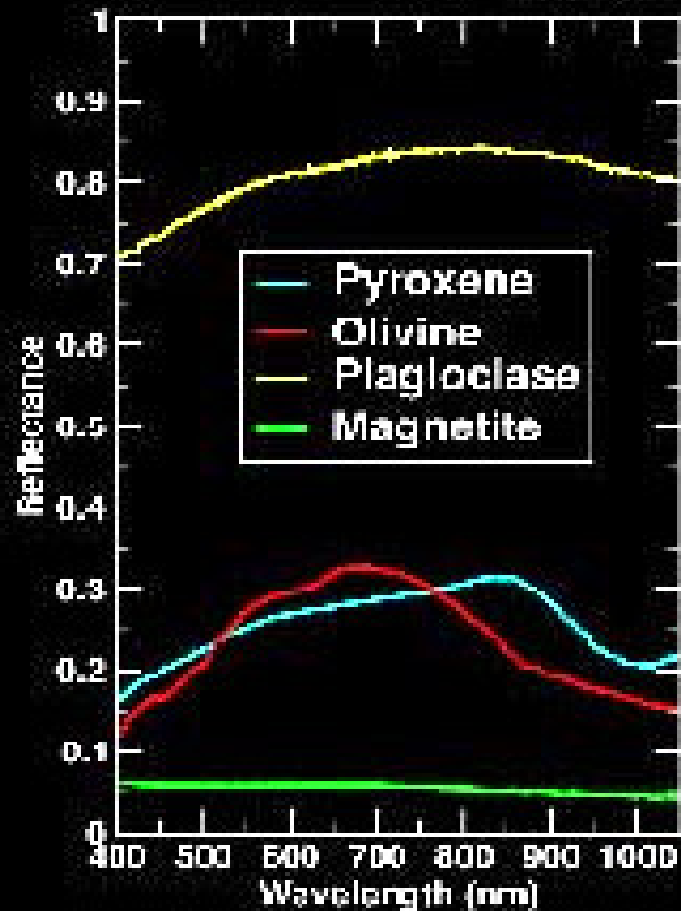
Olivina:

significa que pelo menos parte do solo provém de rocha não modificada, quimicamente ou pela intempérie.

Os dois picos das curvas escuras: ?

Composição majoritária do solo

Laboratory spectra of minerals



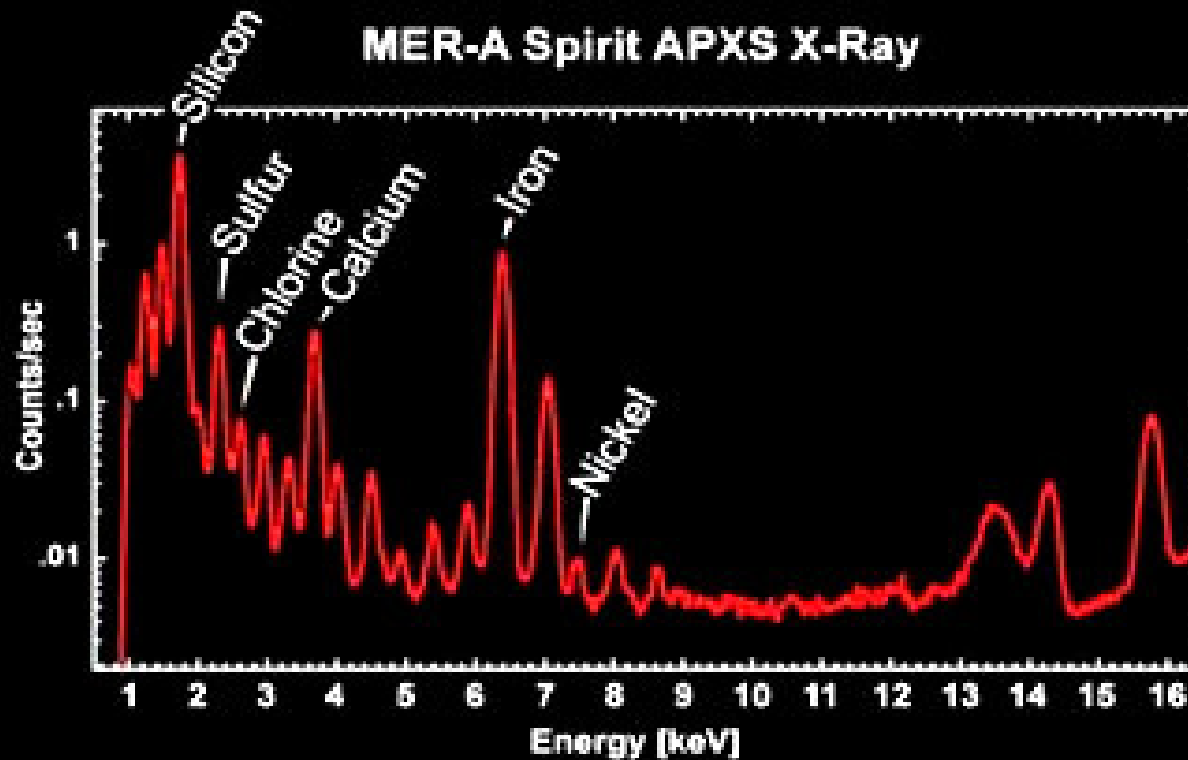
Piroxênio:
 $XY(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$
X: íons de Ca, Na, Fe, Mg
Y: íons de Cr, Al, Fe,
Mg,...

Plagioclásio:
aluminossilicato de Na ou
Ca

Minerais terrestres típicos
de rochas ígneas (origem
magmática ou vulcânica).

Rochas ferrosas terrestres
candidatas para estudo
comparativo de rochas
marcianas.

Composição majoritária do solo

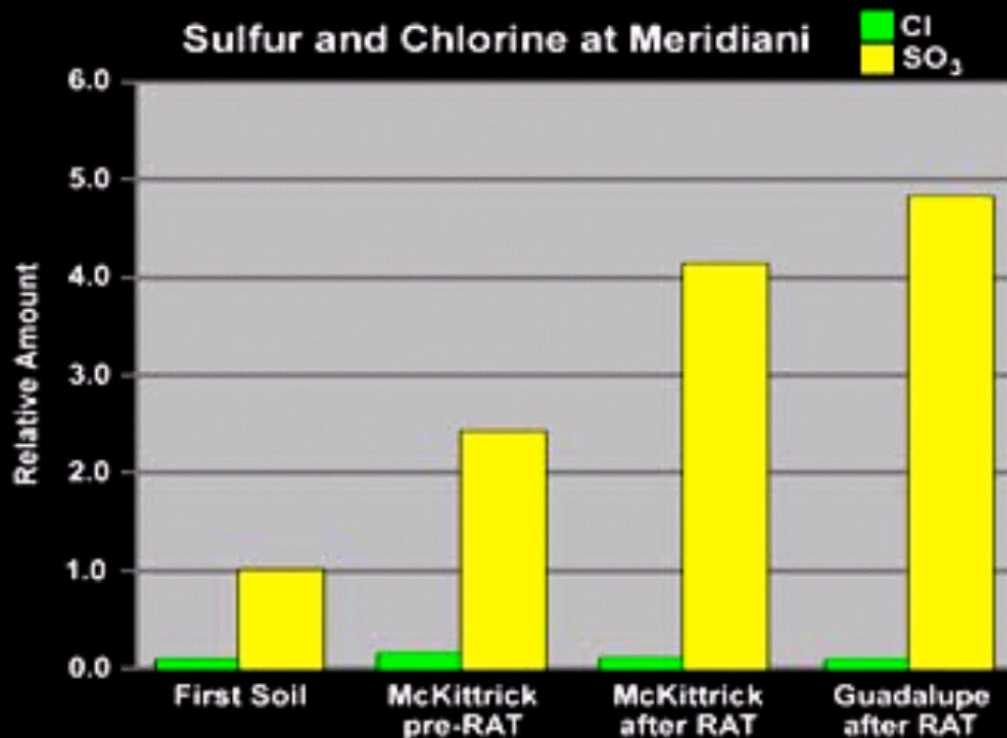


Ferro e Silício:	elementos majoritários do solo
Enxofre e Clorina:	também presentes.
Zinco e Níquel:	traços

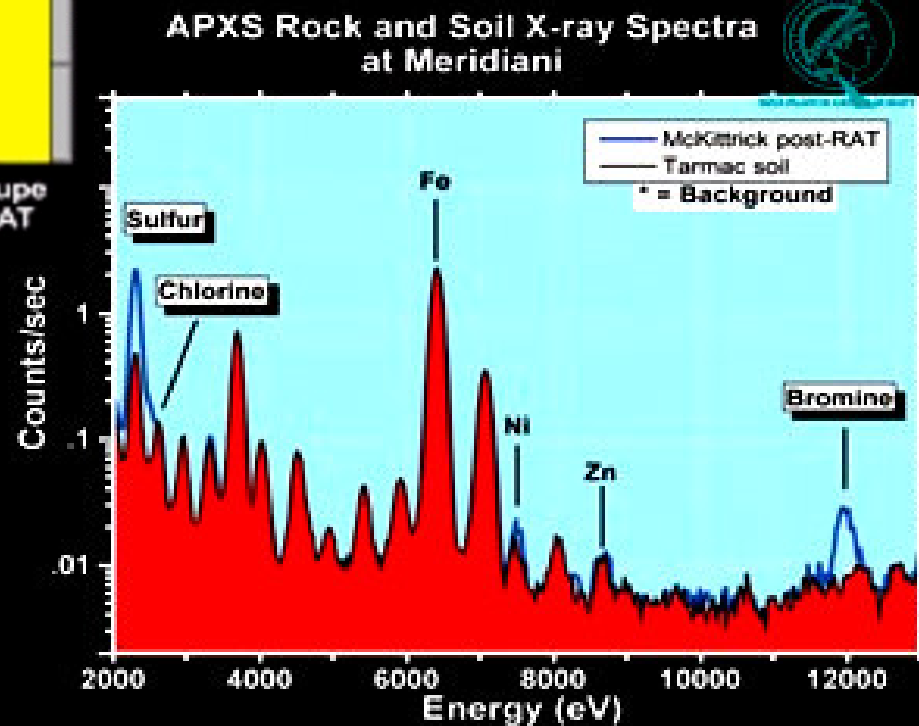
Dados concordantes com observações anteriores

Image Credit: NASA/JPL/Max-Planck-Institute for Chemistry

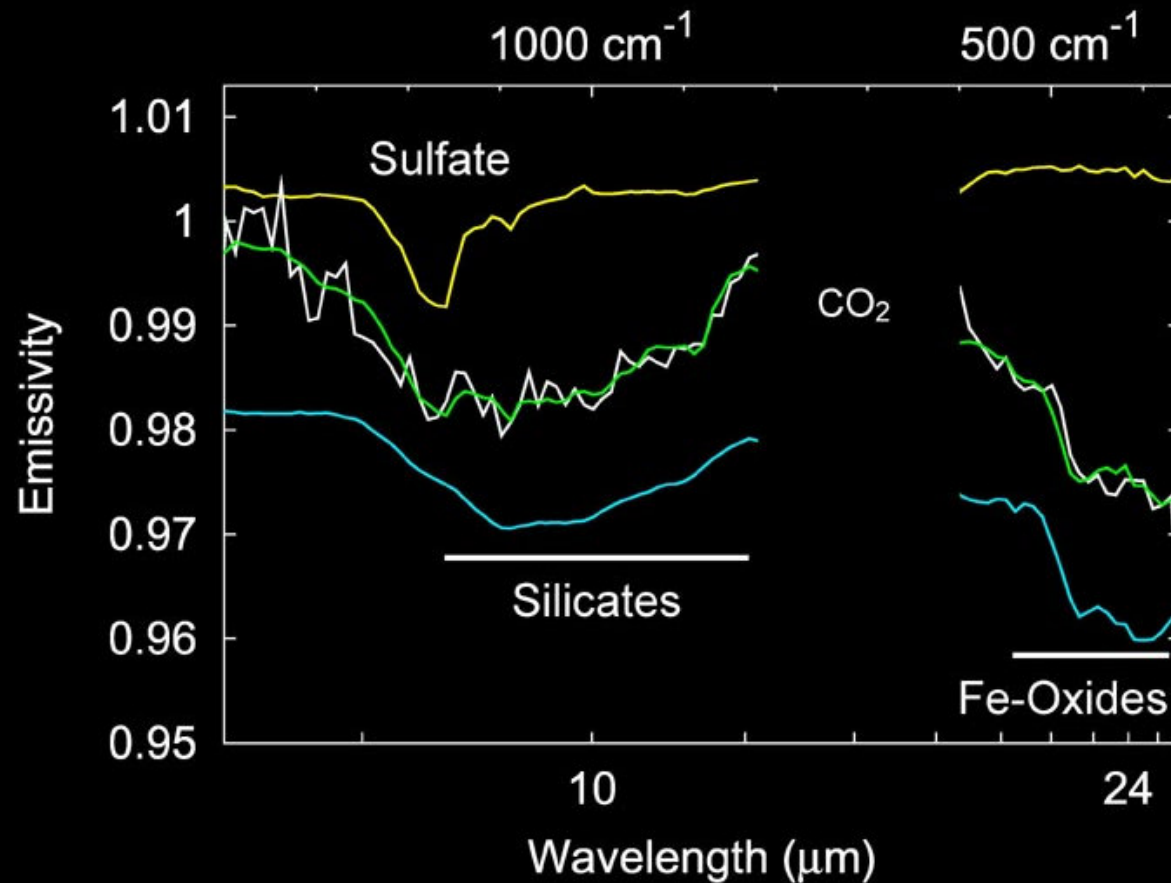
Composição majoritária do solo



Concentração de enxôfre reflete forte presença de sais de sulfato (~30% em peso). Sais de cloreto e brometo tb são indicados. Níveis elevados desses sais sugere rochas contendo depósitos provindos de evaporação de água ou sublimação de gelo.



Composição majoritária do solo



‘El Capitan’ - Opportunity - Mini espectrômetro térmico

Curva sintetizada a partir dos espectros dos sulfatos, silicatos e óxidos minerais.

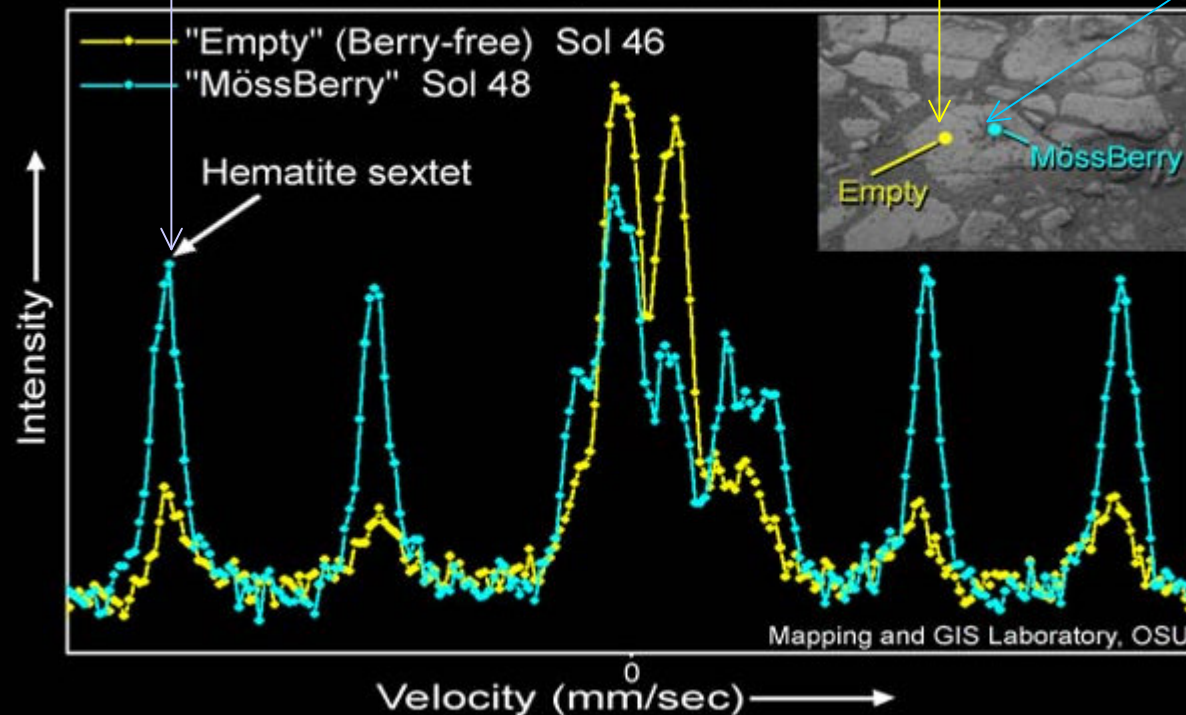
Composição majoritária do solo

"sexteto magnetizado"
(a hematita contém ferro,
geralmente formada em água)

Região exaurida
de grãos esféricos

Região rica em
grãos esféricos
("blueberries")

Mössbauer spectra of the BlueBerry bowl
and bare outcrop at Meridiani Planum



Glóbulos rochosos: tripleto

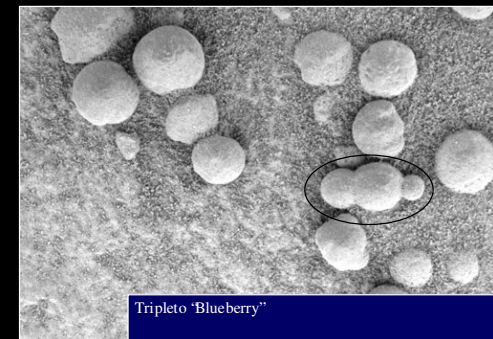


Imagem
microscópica,
tomada
próximo ao
local de
pouso da
Opportunity,
no sol 46.

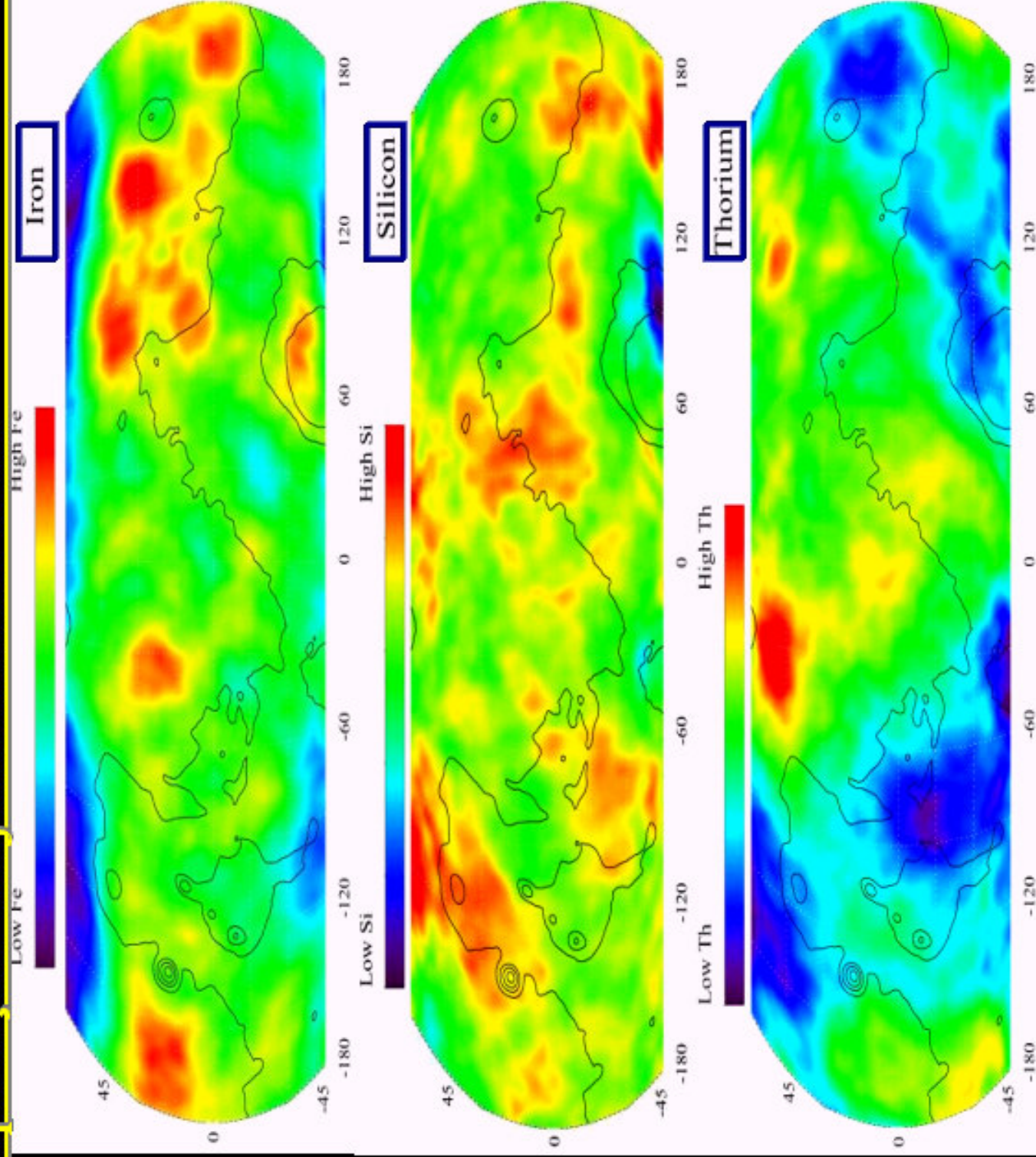
Tripleto "Blueberry"

Indicação de figura geológica "crescida" de sedimentos úmidos.

Quando a formação ocorre a partir de esferas providas de impacto ou
ejeção vulcânica dificilmente ocorre em linha reta.

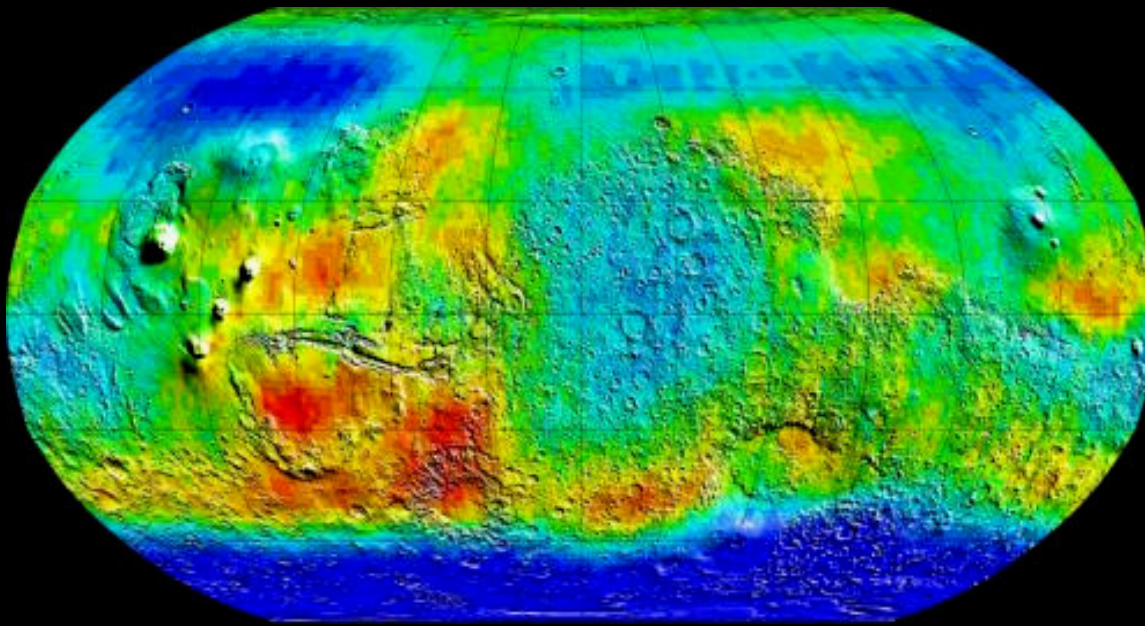
Composição majoritária do solo

2001 Mars Odyssey



Composição majoritária do solo

2001 Mars Odyssey



Nêutrons Epitérmicos (energia ligeiramente superior à térmica): sensíveis à presença de hidrogênio e água congelada

Hidrogênio no extremo norte está abaixo da camada congelada de CO₂.

Regiões superficiais próximas ao equador contêm hidrogênio química ou fisicamente ligado, já que a água não é estável nas regiões equatoriais.

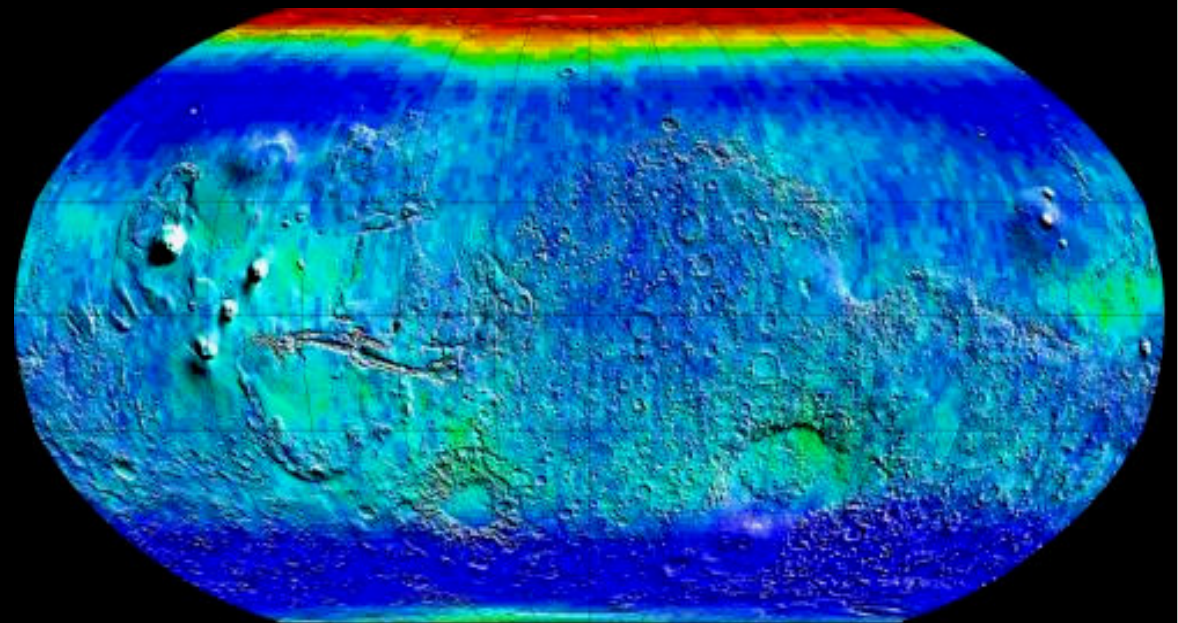
Solo enriquecido de hidrogênio (< 50 % de H₂O), até 1 m abaixo da superfície.

Nêutrons Térmicos (baixa energia): sensíveis à presença de hidrogênio e CO₂ congelado

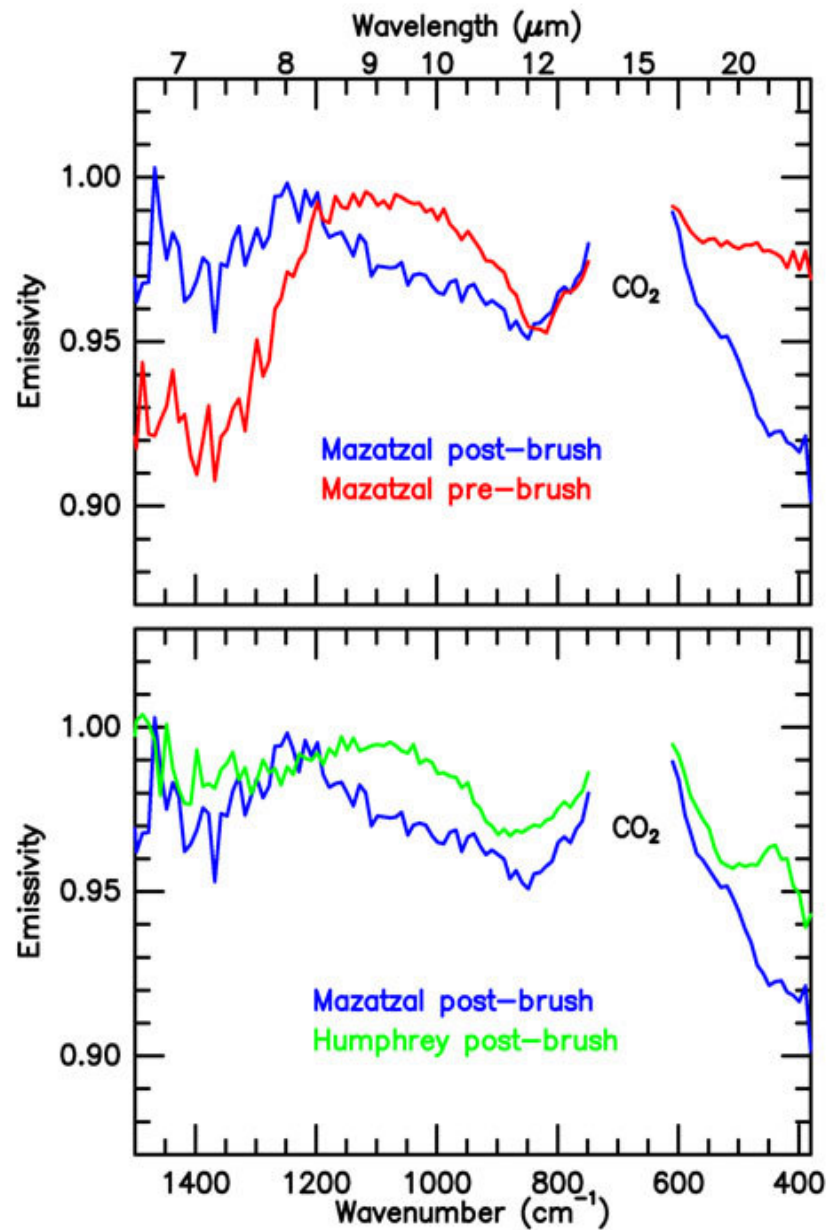
Superfície coberta por camada de ~1m de CO₂ congelado, típico de regiões polares durante o inverno.

Indica a presença de CO₂ residual, mesmo após a dissipação de verão

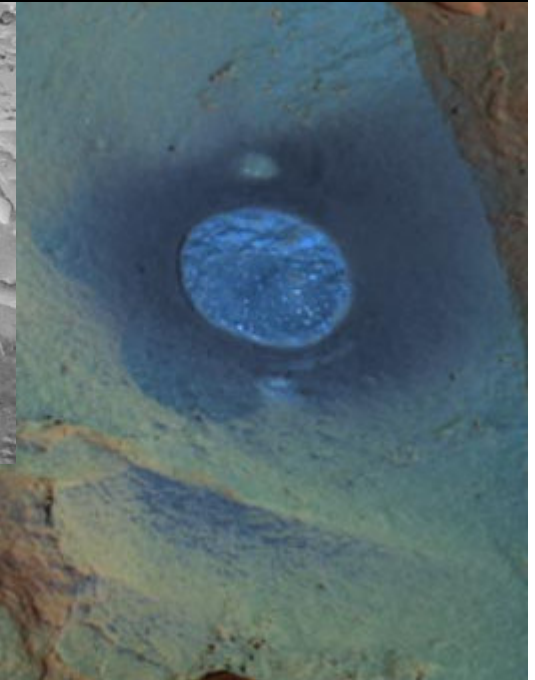
Solo enriquecido por hidrogênio (baixa intensidade de nêutrons térmicos).



Superfície vs interior



Mazatzal



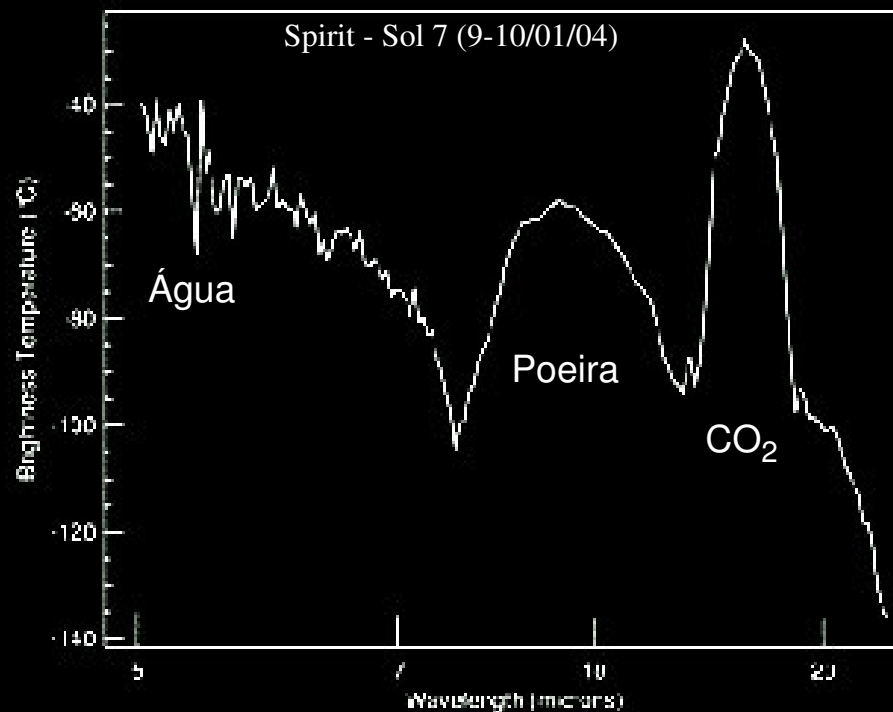
Mazatzal:
cobertura da
superfície tem
composição
mineralógica
diferente do
interior.

*Mazatzal e
Humphrey* têm
composições
diferentes

Humphrey



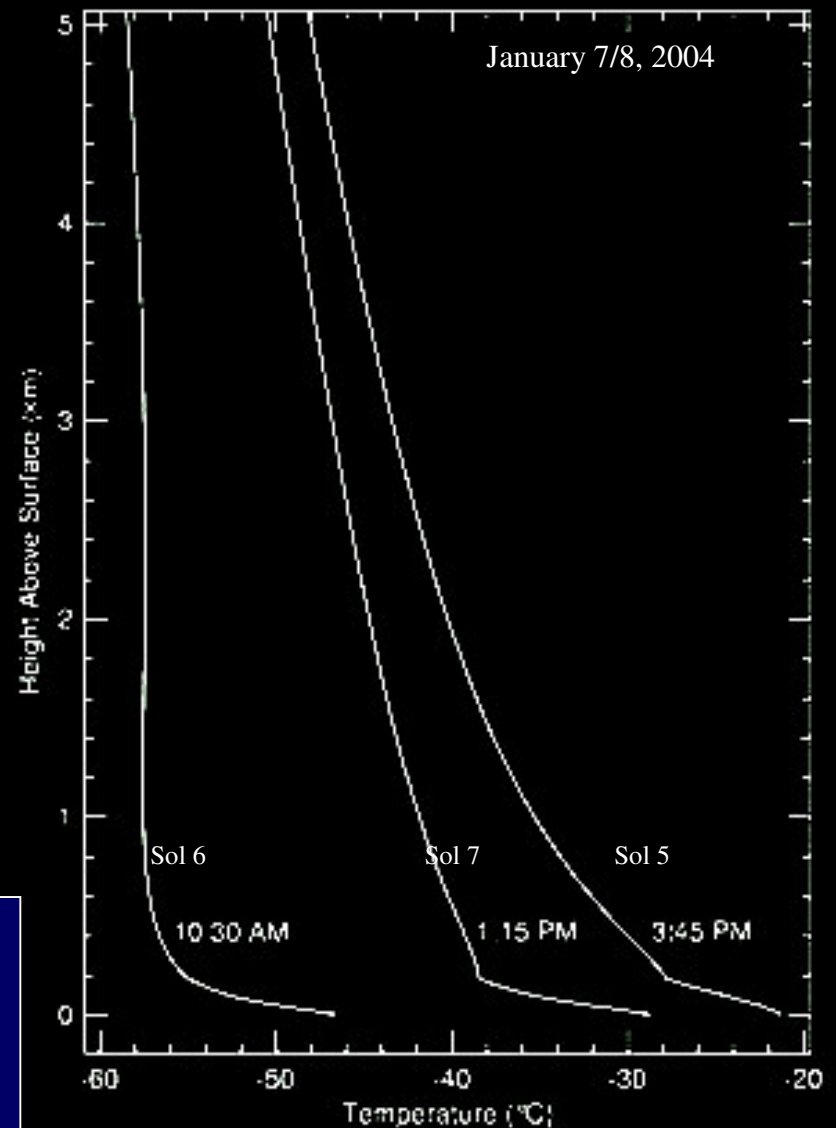
Temperatura



Dados do (mini) espectrômetro de emissão térmica

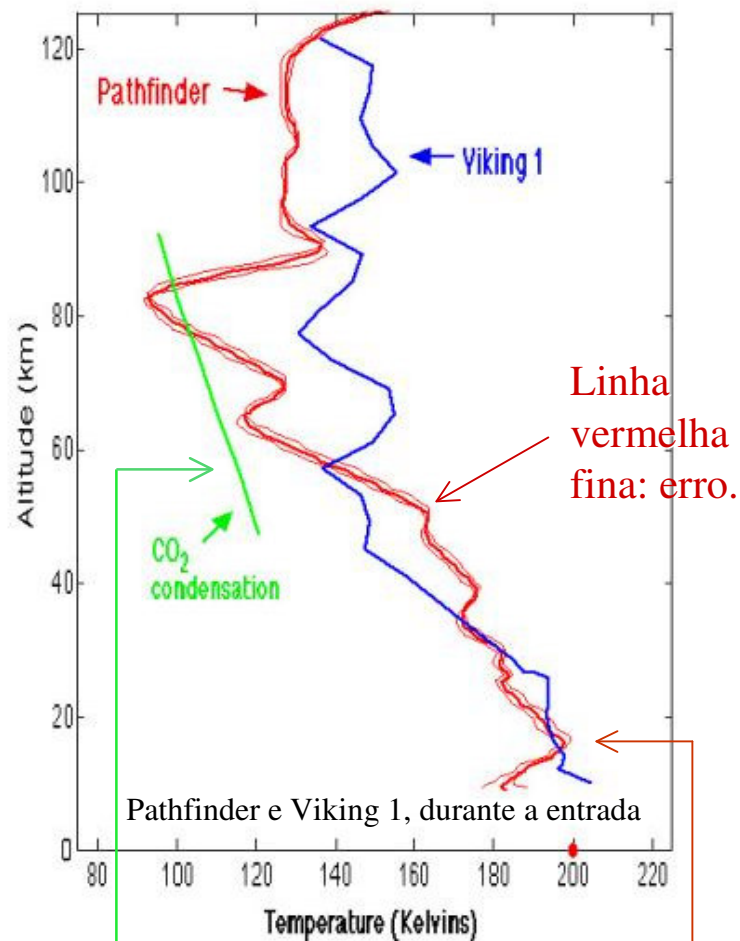
Temperatura superficial, entre 20m e 2km, deduzida a partir do brilho do CO₂ gasoso atmosférico.

As mudanças de temperatura dependem da hora do dia e da altura.



Temperatura e Pressão

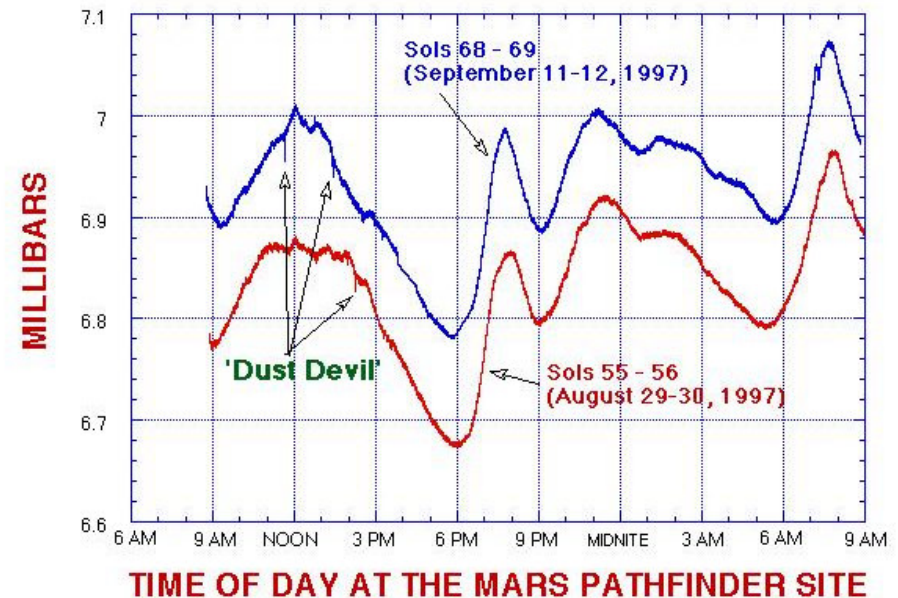
Temperature Profile from Pathfinder Atmospheric Structure Instrument



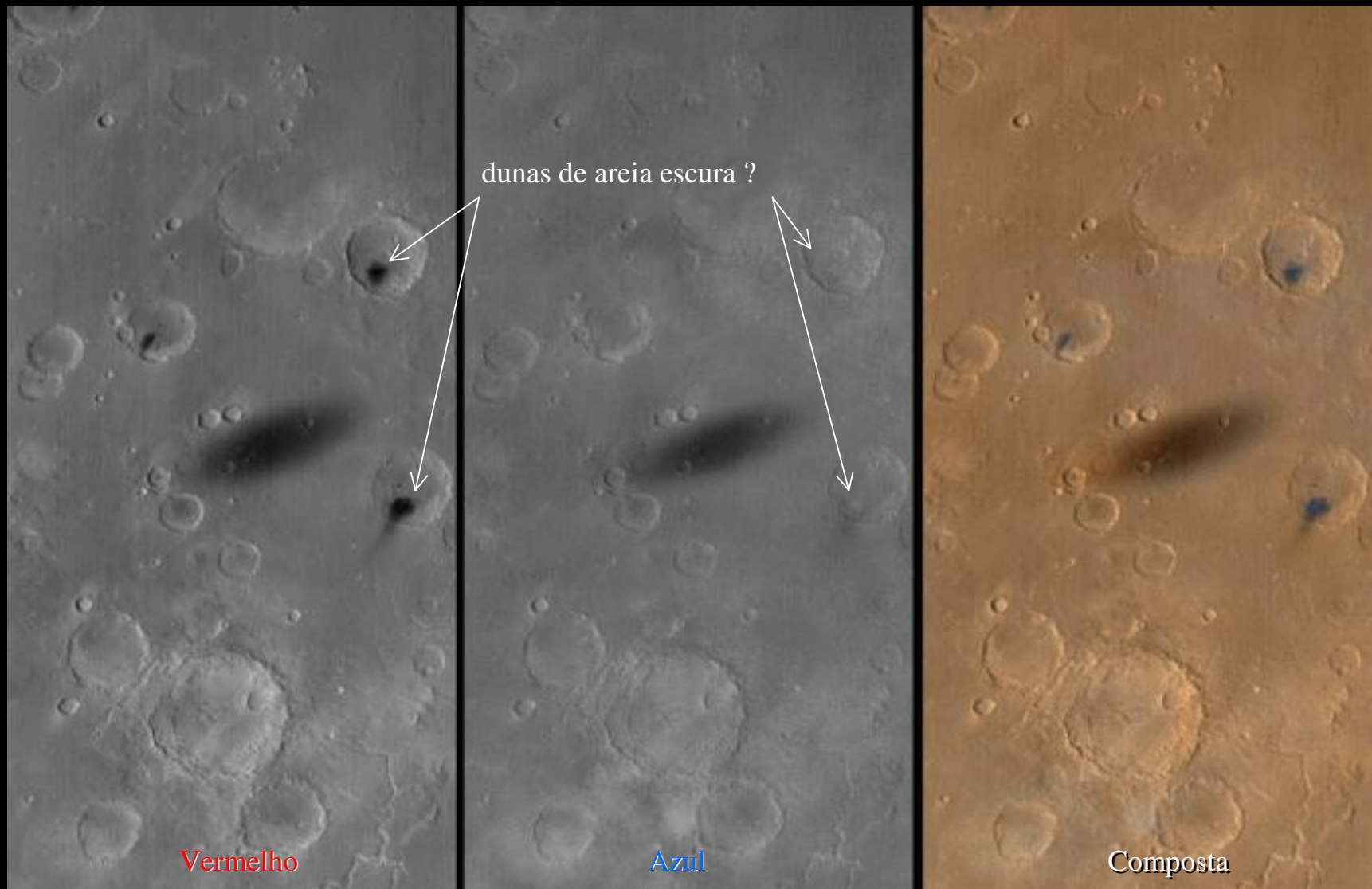
pressão de vapor saturado do CO₂ = pressão atmosférica.

inversão de temperatura em 10-12 km, coincide com local onde cristais de gelo de água foram observados durante o amanhecer.

MARS PATHFINDER LANDER MEASURED SURFACE PRESSURE

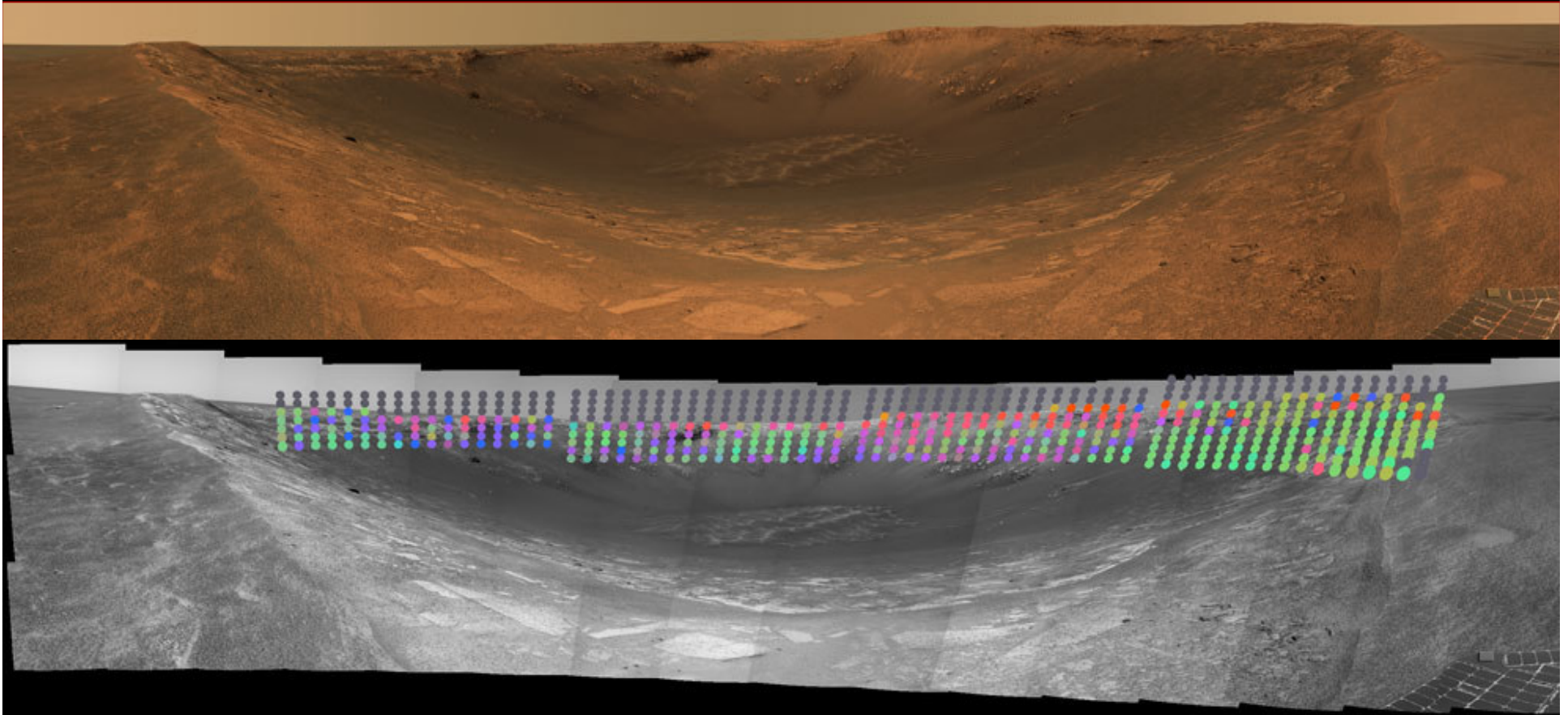


Sombra de Fobos



Sombra de Fobos, vista pela câmera do Mars Global Surveyor (26/8/99 - 14h local)

“Endurance” (130 m - visão em 180°) Opportunity

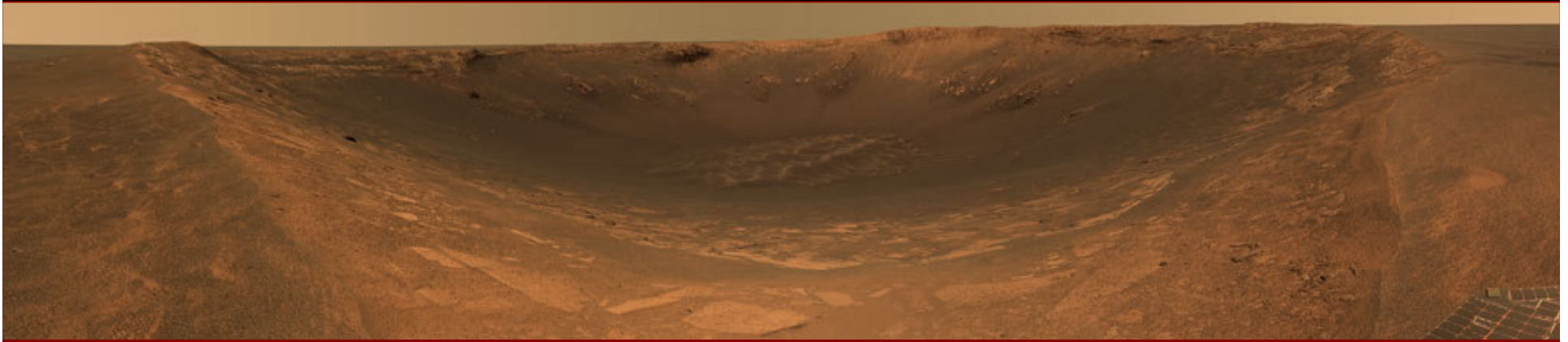


Camadas rochosas nos bordos de composição química variada.
Hematita granulada acima e areia basáltica abaixo.

Basalto tem origem vulcânica, mas a espessura da camada é incompatível com o que se espera do processo de deposição de lava!

Rocha vulcânica pulverizada e espalhada por vento ou água corrente?

“Endurance” (130 m - visão em 180°) Opportunity



Paredes expostas mostra terreno interno à superfície, marcado por processos geológicos. A cratera “Eagle” revelou a presença de sais surgidos de evaporação de água salgada, mas não era profunda o suficiente para revelar o que precedeu a água. “Endurance” pode ajudar a responder esta questão.



Como o explorador “vê” a cratera.

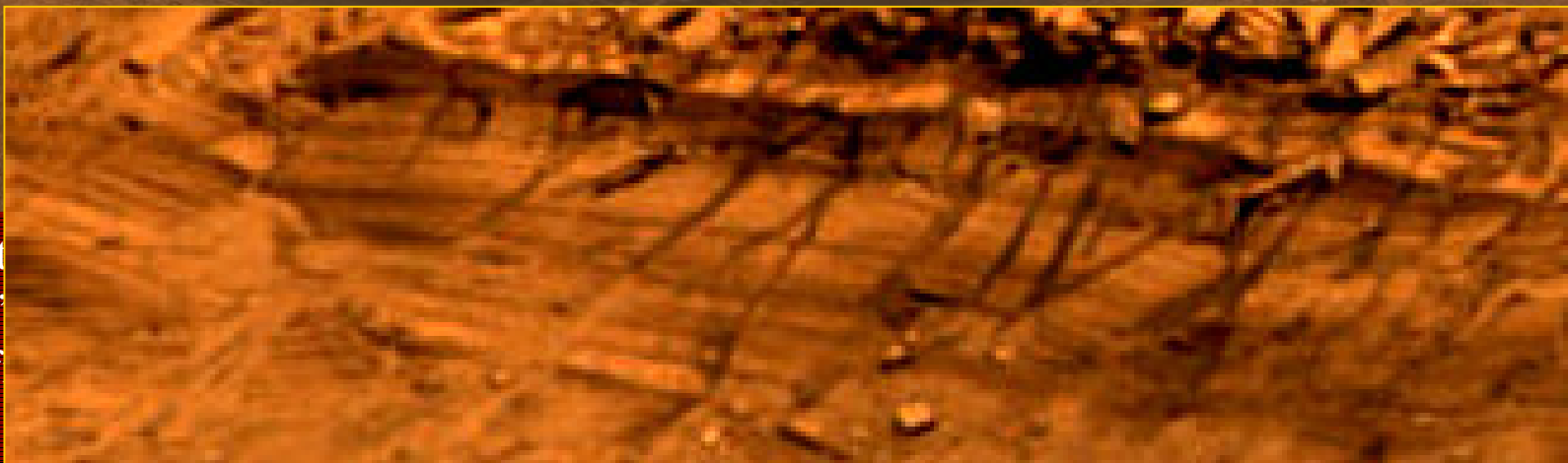


Dimensões relativas

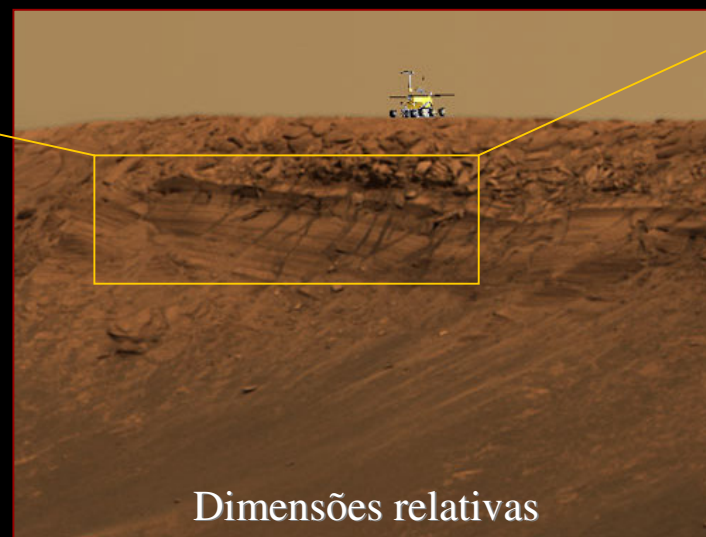
“Endurance” (130 m - visão em 180°)

Opportunity

Paredes expostas
cratera “Eagle”
profunda o suficiente
para esta questão.



Como o explorador “vê” a cratera.



Dimensões relativas

Em resumo:

Os indícios sugerem um Marte de outrora bem diferente do atual:

- 4 houve vulcanismo intenso,
- 4 atmosfera era bem mais espessa,
- 4 temperatura foi mais elevada,
- 4 havia água líquida e, possivelmente,
- 4 vida.

GEOLOGIA

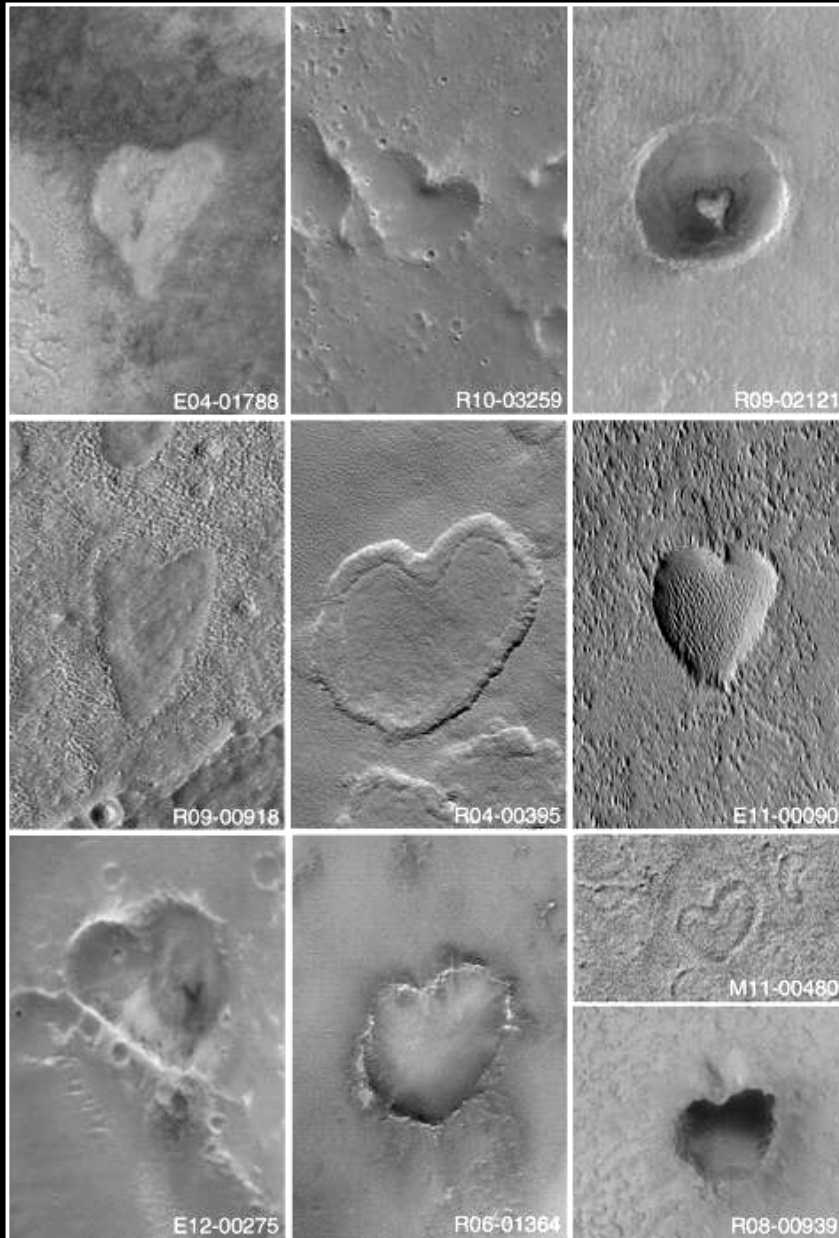
- ⇒ Uma incógnita.
- ⇒ Como os fenômenos mais importantes (vento, água, vulcanismo, tectonismo, colisões...) moldaram a superfície?
- ⇒ Que processo predominante formou rochas em camadas?
- ⇒ As proporções gigantescas do Monte Olimpo são evidências de que, ao contrário da terrestre, a crosta de marciana não se moveu?

Em resumo:

CLIMA

- ⇒ Que fenômenos fizeram o clima variar tanto?
- ⇒ Como era a atmosfera? O que aconteceu?
- ⇒ A Terra poderá sofrer processo semelhante? Como?
É possível evitar?
- ⇒ Qual era a composição química local da Nebulosa Primitiva?

Acredite, se quiser!



* The heart in E04-01788 is a low mesa located near 46.7°N, 29.0°W, and is about 636 m (2,086 ft) wide.

* The heart in R10-03259 is a depression located near 22.7°N, 56.6°W, and is about 378 m (1,240 ft) wide.

* The heart in R09-02121 is a small mesa on a crater floor located near 37.2°S, 324.7°W, and is about 120 m (395 ft) wide.

* The heart in R09-00918 is a depression located near 35.8°N, 220.5°W, and is about 525 m (1,722 ft) wide.

* The heart in R04-00395 is a depression in which occurs a low mesa located near 57.5°N, 135.0°W, and is about 1 km (~0.62 mi) wide.

* The heart in E11-00090 is a depression located near 0.2°N, 119.3°W, and is about 485 m (1,591 ft) wide.

* The heart in E12-00275 is a depression located near 32.7°S, 139.3°W, and is about 512 m (1,680 ft) wide.

* The heart in R06-01364 is a depression located near 8.4°S, 345.7°W, and is about 502 m (1,647 ft) wide.

* The heart in M11-00480 is a depression located near 1.9°N, 186.8°W, and is about 153 m (502 ft) wide.

* The heart in R08-00939 is a depression located near 12.1°S, 173.5°W, and is about 384 m (1,260 ft) wide.