



Mantos e Halos Escuros na Lua

Ao observarmos a Lua notamos além das áreas escuras que formam os mares de basalto, alguns locais que são ainda mais escuros. Estas são áreas de provável vulcanismo onde ocorreram erupção de lava explosiva.

Quando a lava está no interior do manto da Lua, ela está sob considerável pressão. Quando ela sobe à superfície, a pressão cai, permitindo que os gases apanhados pela lava escapem num processo chamado desgaseificação (*degassing*). Estes gases, pensados como sendo monóxido de carbono ou gás carbônico, agem como propulsores, atirando a lava para o alto sobre a superfície lunar. Lá a lava esfria como contas escuras, vítreas, e quando a lava volta para a superfície lunar, estas contas produzem grandes remendos de manto escuro (“*dark mantling*”). As missões Apollo trouxeram algumas destas contas vulcânicas vítreas (*as primeiras delas foram identificadas como ‘vidro laranja’ - ‘orange glass’*).

Na Lua também acontecem muitas coberturas de áreas escuras em unidades menores, com só alguns quilômetros de diâmetro. Estes pequenos depósitos quase sempre estão localizados perto das áreas de maria ou no chãos de grandes crateras. Muitas dessas áreas escuras também estão localizadas ao longo de linhas de falha (rilles). Considerando que a maioria tem uma pequena cova ou cratera central, estas formações provavelmente foram pequenos vulcões explosivos.

Depósitos de Manto de Escuro na Lua (Dark Mantling Deposits - DMD)

Durante anos, os produtos de erupções vulcânicas explosivas ou piroclastos intrigaram as cientistas lunares. Estes depósitos, em torno de mais ou menos 100, estão amplamente esparramados pela superfície lunar. Visualmente esses remendos aparecem como grandes áreas muito escuras e lisas, principalmente ao redor das extremidades das bacias.

Os depósitos de manto escuro na Lua são formados por capas magras de ejeta vulcânico que cobre uma superfície mais velha. As maiores áreas desses depósitos estão localizados perto das extremidades das regiões de maria, e cobrem muitos milhares de quilômetros quadrados. A extensão dos depósitos de manto escuros indica que alguns desses materiais podem ter sido lançados a centenas de quilômetros em todas as direções. Alguns bons exemplo podem ser visto ao redor do **Mare Serenitatis**.

Apesar da baixa gravidade e falta de atmosfera na Lua, que também contribuem para que os materiais vulcânicos sejam lançados à grandes distâncias, algumas das erupções lunares devem ter sido bastante violentos e devem ter se assemelhado a fontes de fogo, do tipo havaiana, mas em uma

escala muito maior. Evidência colecionada pelas missões Apollo confirmaram que essas áreas são cobertas de cinza vulcânica e material vitrificado.

Os depósitos de material escuro podem ser regionais (RDMD) e/ou locais (LDMD).

Na Lua, os **depósitos regionais** de material piroclástico normalmente estão localizados nas bordas das bacias de maria e planaltos adjacentes. Na face visível, as regiões de maior concentração desse material estão localizadas no **Planalto Aristarchus**, **Sul do Sinus Aestuum** (7 W 5 N), **Rima Bode** (3 W 13 N), **Mare Humorum**, **Sulpicius Gallus**, **Mare Vaporum** e **Taurus Littrow**. Nestes locais o material piroclástico de eventos vulcânicos explosivos foram lançados a enormes distâncias de suas fontes de fogo e em base de tamanho, morfologia, e ocorrência; os depósitos regionais grandes podem ser até vários 1000 km² em tamanho.

Mapa 1



MAJOR REGIONAL DARK MANTLE DEPOSITS - Credits:NASA

Este é um mapa da face visível central da Lua. Mostra os tamanhos e localizações dos maiores depósitos mantos escuros conhecidos. Note que a maioria destas unidades está principalmente perto das extremidades de maria. Alguns podem de fato estar parcialmente enterrados por lavas de maria mais jovens. A missão da Apollo 17 aterrissou em Taurus-Littrow na extremidade do sudeste do Mare Serenitatis. Este mapa é baseado no trabalho de Head, 1974 e Gaddis et al, 1985, como apresentado em Hawke et al, 1990.

Depósitos lunares locais de manto escuro (LDMD) foram formados durante erupções de uma cratera vulcânica produzida por uma explosão em uma área de baixo relevo. É pensado como sendo composto de misturas de quantias variadas de olivina, piroxênio, rocha original e vidro, mas, no geral, nem todos os componentes estão sempre presentes ou associado com cada depósito. Esses

depósitos de manto escuro são reconhecidos pelo seu albedo muito baixo, textura lisa, e subjugando ao terreno subjacente. Os depósitos de manto escuro locais são identificados por seu tamanho menor (são tipicamente menor que 1000 km²) em relação aos depósitos de manto escuros regionais.

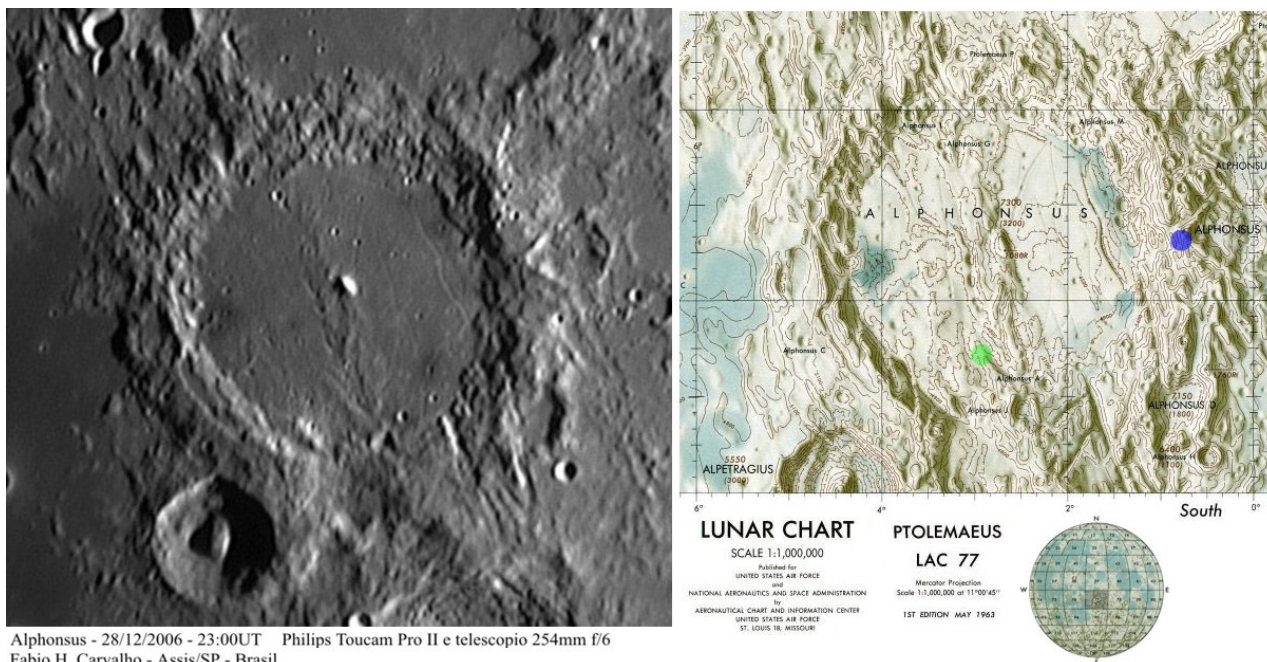
Crateras de Halos Escuros e Depósitos Piroclásticos (Dark-haloed craters and Pyroclastic Deposits)

Muitos mantos escuros menores estão associados à pequenas crateras localizadas nos chãos fraturados das crateras grandes. Esses mantos podem conter cones de cinza, de baixa altura, largos, e amoldados em formato de colinas criados por erupções vulcânicas explosivas.

Os halos escuros em crateras acontecem sob duas formas, e ambas estão associadas à produtos vulcânicos.

No tipo achado na Cratera **Alphonsus**, os halos estão associados aos rilles, e provavelmente representa locais eruptivos com fontes de fogo. Assim não é nenhuma surpresa que os seus halos sejam mantos de materiais escuros. Em Alphonsus foram detectados 11 pontos de pequenas manchas escuras associadas à produtos vulcânicos. Também, pelo menos dois domos já foram localizados em Alphonsus (círculos azul e verde) conforme podemos ver na imagem abaixo (Imagem.1).

Imagem 1



Crateras de halo escuras localizaram ao longo de fraturas no chão da cratera **Alphonsus** (108 km de diâmetro; ~13°S/357°E). Esses locais são considerados locais de pequenos depósitos de material piroclástico. Alphonsus é considerada uma cratera velha do período Imbriano Inferior localizada no planalto de Fra Mauro à Leste do Mare Nubium criado no período Imbriano Superior. A cratera tem um chão plano, pesadamente craterado, um cume central, e uma borda larga. O chão de cratera é coberto com basalto de maria do Imbriano Superior e as elevações próximas equivalem ao Mare Nubium. Os rilles em seu interior tendem para a direção norte-sul e dissecam o chão da cratera. Essas formações são interpretadas como tendo sido formadas como fraturas de tensão em resposta ao rebote isostático ou contração termal dos basaltos de maria no interior da cratera [Carr, M.H. (1969) *USGS I-599*, 1:250K.]. As crateras de halo escuras estão localizadas nas adjacências

dos rilles do chão, indicando que as fraturas provavelmente foram canais que providenciaram o acúmulo e condução do material volátil de subsequente erupção piroclásticas.

Alphonsus contém onze (11) crateras de halo escuro em seu interior sendo que dez (10) delas estão localizadas dentro de 25 km do beira da bacia (Fig. 1). Estas pequenas crateras são caracterizadas por beira não circular menor que 2 km de diâmetro e halos escuros que estendem até 6 km do centro de cratera, sendo que elas são interpretadas como de origem endógena [Head and Wilson (1979)

PLPSC 10th, 2861.]. Segundo o modelo de Head e Wilson esses foram locais onde ocorreu acúmulo piroclástico e explosão de substâncias voláteis que formou uma capa sobre um corpo do magma ascendente.

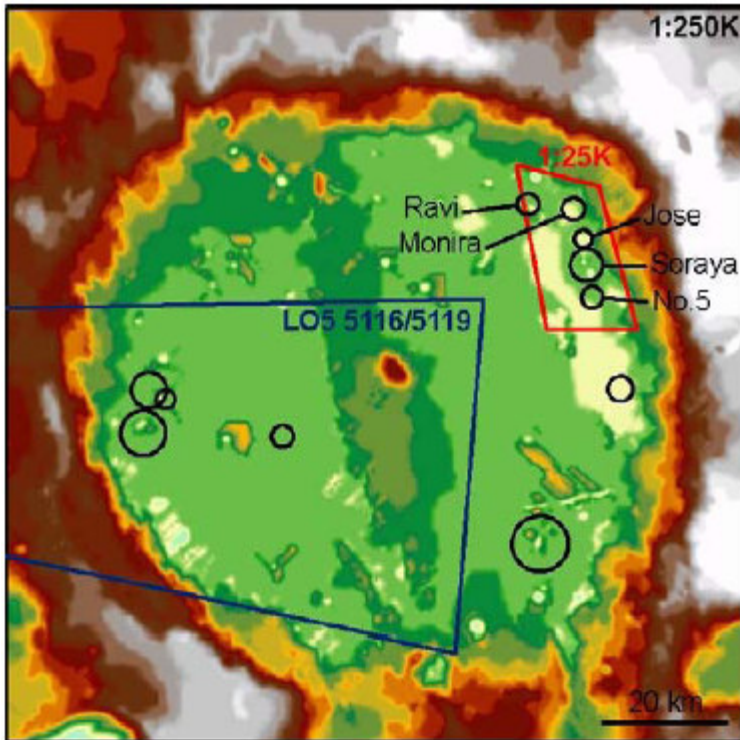


Figura 1 (à esquerda)

Escala 1:250 k reconstruída para 1:25 Km. DEM limitado no retângulo vermelho, e LO5 DEM para o limite esboçado em azul, e as localizações das 11 crateras de halo escuro. Esquema montado a partir de um mapa topográfico originalmente gerado de fotografias métricas tomadas pela Apollo 16 (frames 2477/2478) e fotografias panorâmicas frames 9383/9378 e 5380/5385)

Estrutura da cratera Alphonsus mostrando a localização dos 11 pequenos mantos de halos escuros em seu interior. Lunar and Planetary Science XXXVI (2005) U. S. Geological Survey.

O outro tipo de cratera de halo escuro acontece onde uma cobertura de ejeta luminoso, gerada por impacto, cobriu um fluxo de lava mais velho. Quando um impacto mais recente acontece ali, perfura a magra folha do ejeta luminoso e revela o fluxo de lava mais escuro em baixo dele. Os ejeta desta cratera incluirão esses materiais mais escuros. Um bom exemplo desse tipo de formação nos remete a *cratera "Shorty"* (imagem 2).

Imagem 2

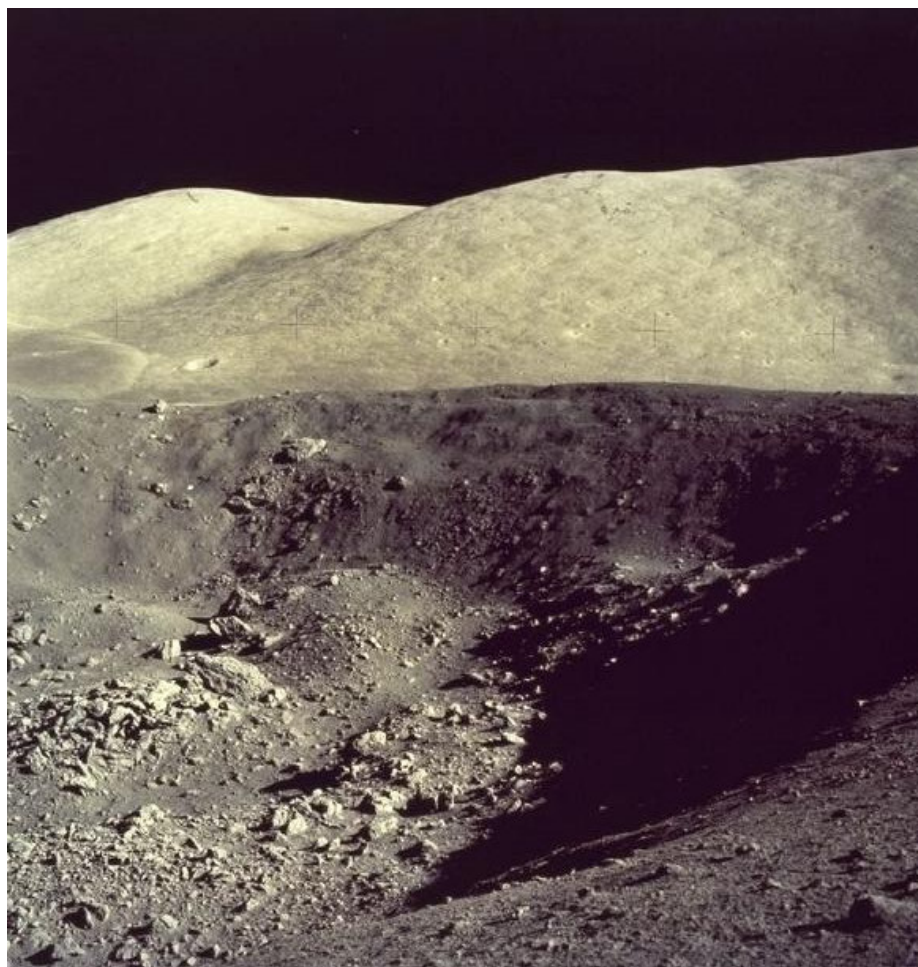


Imagem: borda da cratera ‘Shorty’ visitada pela missão Apollo 17. Crédito: NASA.

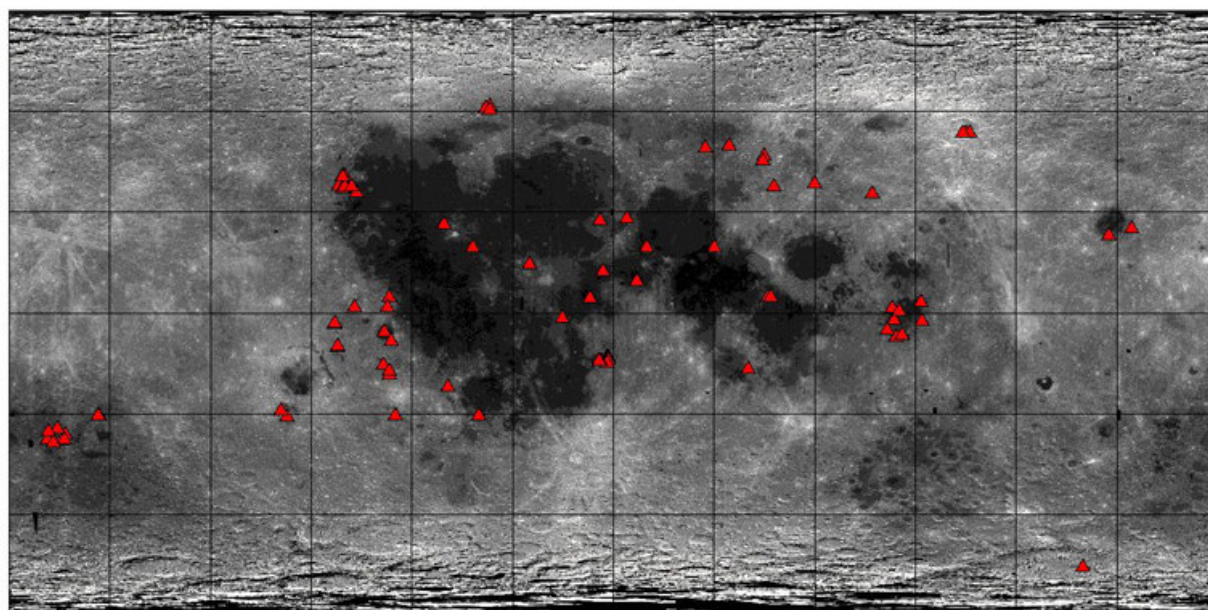
Tanto na face visível quanto na face distante da Lua, próximos à rilles, nas bordas de planícies e planaltos adjacentes, no chão de crateras e mesmo em torno de domos lunares, já foram catalogados em torno de 100 dessas áreas escuras formando depósitos regionais e locais, grandes e pequenos espalhados por toda a Lua.

Em recentes anos, os cientistas tem usado os dados obtidos pela sonda Clementine (DOD/NASA Clementine data), adquiridos em 5 comprimentos de onda, para estudar as composições e distribuições dos depósitos de piroclastos lunares. Além desta avaliação, eles compilaram um banco de dados das localizações e atributos de todos esses depósitos lunares conhecidos.

O mapa 2 (abaixo) mostra a distribuição de todos os depósitos de piroclastos até agora conhecidos na Lua. Foram plotados 102 depósitos. A imagem base é um mosaico global Clementine albedo (750-nm), em Projeção Cilíndrica simples centrada em 0,0. A maioria dos depósitos são observados perto das margens das bacias de maria lunar, mas algumas são também associadas com fraturas no chão de velhas crateras localizadas em terras elevadas (planaltos) em ambas as faces da Lua. Embora o vulcanismo na Lua seja muito menos comum na face distante, lá também existem vários pequenos depósitos de piroclastos. Crédito: NASA.

Mapa 2

Lunar Pyroclastic Deposits:
Locations of all deposits overlaid on
Clementine 750-nm global mosaic,
Simple Cylindrical projection (center at 0,0)



3000 0 3000 6000 Kilometers

▲ LunPyroDb51999.shp
□ Global30grid.shp



Tabela 1

Catálogo dos Locais de Vulcanismo Piroclástico

ID	LAT	LON	Nome	EXTENSÃO	AREA	REFERÊNCIA	Notas
1	-15.0	-68.4	Lacus Aestatis	Pequeno	370	Coombs&Hawke 92	Perto do Mare Orientale
2	-13.7	-3.4	Alphonsus (C)	Pequeno	11	Head & Wilson 79	#8, sem nome
3	-12.5	-2.0	Alphonsus (E)	Pequeno	8	Head & Wilson 79	#1, MD-Ravi
4	-12.5	-1.7	Alphonsus (E)	Pequeno	8	Head & Wilson 79	#2, Monira
5	-12.6	-1.7	Alphonsus (E)	Pequeno	10	Head & Wilson 79	#3, Jose
6	-12.8	-1.6	Alphonsus (E)	Pequeno	25	Head & Wilson 79	#4, KC-Soraya
7	-13.0	-1.6	Alphonsus (E)	Pequeno	48	Head & Wilson 79	#5, sem nome
8	-13.5	-1.6	Alphonsus (E)	Pequeno	55	Head & Wilson 79	#6, sem nome
9	-14.4	-2.0	Alphonsus (S)	Pequeno	43	Head & Wilson 79	#7, R
10	-13.6	-4.1	Alphonsus (W)	Pequeno	39	Head & Wilson 79	#9, CA
11	-13.5	-4.2	Alphonsus (W)	Pequeno	41	Head & Wilson 79	#10, sem nome
12	-13.7	-4.3	Alphonsus (W)	Pequeno	79	Head & Wilson 79	#11, sem nome

13	-30.0	-153.1	Apollo Basin (E)	Pequeno	69	Head & Wilson 79	Cratera sem nome, a NE de Apollo
14	-30.0	-153.5	Apollo Basin (W)	Pequeno	2	Head & Wilson 79	cratera não nomeada a NE de Apollo
15	28.0	-4.0	Archimedes	Pequeno	8	Hawke et al. 89	borda sul
16	26.7	-50.5	Aristarchus	Grande	37400	Gaddis et al. 85; Lucey et al. 86	no Oceanus Procellarum
17	47.3	44.8	Atlas (N)	Pequeno	100	Hawke et al. 89	velha cratera de planalto
18	45.7	44.6	Atlas (S)	Pequeno	250	Hawke et al. 89	
19	-9.5	-82.2	Autumni	Pequeno	330	Coombs&Hawke 92	perto do Mare Orientale
20	5.1	-66.9	Cavalerius	Pequeno	880	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
21	54.0	105.0	Compton (SC)	Pequeno	24	Lucchitta 78	velha cratera de planalto
22	54.0	106.0	Compton (SE)	Pequeno	45	Lucchitta 78	
23	54.0	104.0	Compton (SW)	Pequeno	5	Lucchitta 78	
24	-16.7	-66.7	Cruger (N)	Pequeno	120	Coombs&Hawke 92	cratera de planalto, perto de Grimaldi
25	-17.9	-66.7	Cruger (S)	Pequeno	760	Coombs&Hawke 92	
26	-16.7	-66.7	Cruger (W1)	Pequeno	50	Coombs&Hawke 92	
27	-16.7	-66.7	Cruger (W2)	Pequeno	50	Coombs&Hawke 92	
28	-11.2	34.0	Daguerre	Pequeno	297	Coombs et al. 90; Hawke et al. 97	No Mare Nectaris
29	50.1	34.4	E. Mare Frigoris (E)	Pequeno	575	Gaddis et al. 85	
30	49.6	27.4	E. Mare Frigoris (W)	Pequeno	1000	Gaddis et al. 85	
31	38.4	47.9	Franklin	Pequeno	1000	Gaddis et al. 85	Velha cratera de planalto
32	-1.0	-15.2	Gambart	Pequeno	100	Hawke et al. 91	cratera peculiar a SE de Copernicus
33	-11.1	37.7	Gaudibert	Pequeno	40	Coombs et al. 90; Hawke et al. 97	No Mare Nectaris
34	-12.4	38.7	Gaudibert B	Pequeno	576	Coombs et al. 90; Hawke et al. 97	"complexo vulcânico" no Mare Nectaris
35	36.0	77.0	Gauss	Pequeno	350	Gaddis et al. 85	Cratera de planalto
36	-5.2	-68.3	Grimaldi	Pequeno	2100	Hawke et al. 89	W do Oc. Procellarum
37	-7.9	-66.2	Grimaldi F	Pequeno	90	Coombs&Hawke 92	
38	-1.6	83.7	Haldane	Pequeno	85	Yingst&Head 98; Spudis 89	#12, no Mare Smythii
39	2.2	-77.0	Hedin (N)	Pequeno	113	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
40	2.2	-77.0	Hedin (NW)	Pequeno	130	Coombs&Hawke 92	
41	2.2	-77.0	Hedin (W)	Pequeno	150	Coombs&Hawke 92	
42	2.2	-67.5	Hevelius	Pequeno	76	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
43	62.0	-36.9	J. Herschel (C)	Pequeno	120	McCord et al. 81	Velha cratera de planalto

44	61.4	-38.0	J. Herschel (N)	Pequeno	260	McCord et al. 81	
45	61.0	-37.0	J. Herschel (S)	Pequeno	60	McCord et al. 81	
46	-6.5	84.1	Kiess	Pequeno	1450	Yingst&Head 98; Spudis 89	#21, no Mare Smythii
47	-29.9	-65.0	Lagrange C	Pequeno	1900	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
48	38.5	-81.9	Lavoisier	Pequeno	5	this study	W do Oc. Procellarum
49	38.3	-79.7	Lavoisier	Pequeno	5	this study	
50	37.6	-80.7	Lavoisier	Pequeno	8	this study	
51	38.2	-79.8	Lavoisier	Pequeno	9	this study	
52	37.8	-80.3	Lavoisier	Pequeno	11	this study	
53	37.5	-80.8	Lavoisier	Pequeno	11	this study	
54	38.0	-80.1	Lavoisier	Pequeno	18	this study	
55	36.4	-76.4	Lavoisier F	Pequeno	3	this study	
56	38.2	-78.1	Lavoisier H	Pequeno	36	this study	
57	-30.0	-40.0	Mare Humorum	Grande	3000	Gaddis et al. 85	
58	2.0	83.0	Mare Smythii (NNW)	Pequeno	590	Yingst & Head 98	#9, W do Mare Smythii
59	-6.0	86.0	Mare Smythii (SW)	Pequeno	460	Yingst & Head 98	#22, Widmanstatten
60	1.0	85.0	Mare Smythii (W)	Pequeno	245	Yingst & Head 98	#11, Camoens
61	-4.5	81.5	Mare Smythii (WSW)	Pequeno	355	Yingst & Head 98	#20, NE de Kastner
62	10.0	7.0	Mare Vaporum	Grande	10000	Gaddis et al. 85	
63	3.6	91.7	McAdie	Pequeno	43	Spudis 89	Perto do Mare Smythii
64	-21.5	-49.2	Mersenius (NW)	Pequeno	53	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
65	-21.5	-49.2	Mersenius (SW)	Pequeno	91	Coombs&Hawke 92	
66	-21.5	-49.2	Mersenius (W)	Pequeno	76	Coombs&Hawke 92	
67	-21.5	-49.2	Mersenius (WNW)	Pequeno	91	Coombs&Hawke 92	
68	39.0	60.0	Messala	Pequeno	700	Gaddis et al. 85	
69	15.0	-25.0	Montes Carpatius	Grande	2500	Gaddis et al. 85	
70	20.0	-42.0	Montes Harbinger	Grande	5400	Gaddis et al. 85	
71	25.7	154.3	Moscoviense	Grande	1500	Craddock et al. 97	Perto de Komarov
72	23.6	147.7	Moscoviense	Grande	3700	Craddock et al. 97	
73	41.4	-80.0	NE Lavoisier (N)	Pequeno	36	this study	W do Oc. Procellarum
74	41.3	-80.6	NE Lavoisier (NW)	Pequeno	68	this study	
75	40.9	-80.6	NE Lavoisier (W)	Pequeno	14	this study	
76	-35.8	-163.3	Oppenheimer	Pequeno	13	Rosanova et al. 97	Lado distante na Apollo Basin (Bacia)
77	-37.5	-164.6	Oppenheimer	Pequeno	25	Rosanova et al. 97	

78	-34.0	-165.5	Oppenheimer	Pequeno	38	Rosanova et al. 97	
79	-37.1	-163.5	Oppenheimer	Pequeno	140	Rosanova et al. 97	
80	-37.0	-168.5	Oppenheimer	Pequeno	245	Rosanova et al. 97	
81	-34.8	-168.3	Oppenheimer	Pequeno	1300	Rosanova et al. 97	
82	-38.0	-166.8	Oppenheimer	Pequeno	1500	Rosanova et al. 97	
83	-30.2	-97.4	Orientale	Pequeno	3600	Bussey & Spudis 97	"kiss" Orientale basin S (borda Sul da Bacia Orientale)
84	-28.5	-99.0	Pacificus	Pequeno	1600	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
85	-2.5	-83.0	Riccioli (N)	Pequeno	1400	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
86	-2.5	-83.0	Riccioli (NW)	Pequeno	150	Coombs&Hawke 92	
87	-2.9	-83.0	Riccioli (SE)	Pequeno	20	Coombs&Hawke 92	
88	-2.5	-83.0	Riccioli (SW)	Pequeno	50	Coombs&Hawke 92	
89	-2.5	-83.0	Riccioli (W)	Pequeno	40	Coombs&Hawke 92	
90	-2.5	-83.0	Riccioli (W-SW)	Pequeno	40	Coombs&Hawke 92	
91	13.0	-3.0	Rima Bode	Grande	10000	Gaddis et al. 85	
92	28.5	4.0	Rima Fresnel	Pequeno	2120	Hawke et al. 89	
93	5.0	-7.0	S. Sinus Aestuum	Grande	30000	Gaddis et al. 85	
94	-9.2	-82.2	Schluter A	Pequeno	40	Coombs&Hawke 92	Perto de Orientale
95	-75.0	140.0	Schrodinger	Pequeno	680	Shoemaker et al. 94	Perto do Pólo sul Lunar
96	-22.6	40.4	SE of Nectaris	Grande	891	Coombs et al. 90; Hawke et al. 97	
97	20.0	10.0	Sulpicius Gallus	Grande	6000	Gaddis et al. 85	SW do Mare Serenitatis
98	5.1	46.0	Taruntius	Pequeno	3	Spudis 89	jovem? E. Tranq./NW Fecund.
99	5.3	46.8	Taruntius	Pequeno	4	Spudis 89	
100	-2.0	92.0	Tasso S	Pequeno	250	Yingst & Head 98	#19, no Mare Smythii
101	20.1	30.1	Taurus-Littrow	Grande	4000	Gaddis et al. 85	SE do Mare Serenitatis

Notas:

- (1) Lista por ordem alfabética.
- (2) Latitudes é medida com Norte (positivo) e Sul (negativo) desde 0 graus.
- (3) Longitudes são medidas de Este e Oeste desde o meridiano 0 graus:
Este = positivo, 0 a 180 graus.
Oeste = negativo, 0 a -180 graus.
- (4) Extensão " é grandemente artificial, um refinamento será feito no futuro.
- (5) **Áreas (km²) são (a) desde literatura e (b) estimativa utilizando produto cartográfico obtido pela sonda Clementine a 750 nm.
- (6) Referencias não estão inclusas. A maioria dos depósitos é identificado em Wilhelms&McCauley '71 map.
Se refira à Lista de Referência (em outro lugar neste local de Rede) para mais informação.

Alguns resultados obtidos de amostras Lunares e dados obtidos remotamente de materiais piroclásticos e regiões de manto escuro na Lua

Foram achados produtos piroclásticos em todas as amostras lunares trazidas para a Terra, eles estão amplamente dispersos e longe de suas fontes de origem, sendo pensado que os depósitos escuros marcam as localizações de aberturas vulcânicas na Lua. Muitas destas aberturas também podem ter produzido depósitos vulcânicos efusivos, ou maria que obscureceu os depósitos de piroclastos mais velhos.

Um dos depósitos mais famosos é o localizado na região de **Touro-Littrow** (mapa 4) à sudeste do Mare Serenitatis. Era pensado que este mesmo material escuro representava um depósito vulcânico jovem, e a exploração de tal um material jovem foi uma razão primária para a seleção desse local de aterrissagem da missão Apollo 17 (imagem 3). A observações dos astronautas e análises das amostras trazidas desfez a idéia que este era um depósito recente, e de fato foi determinado que a idade do material piroclástico e depósitos de maria geralmente excedem a 3.5 bilhões de anos.

Mapa 4

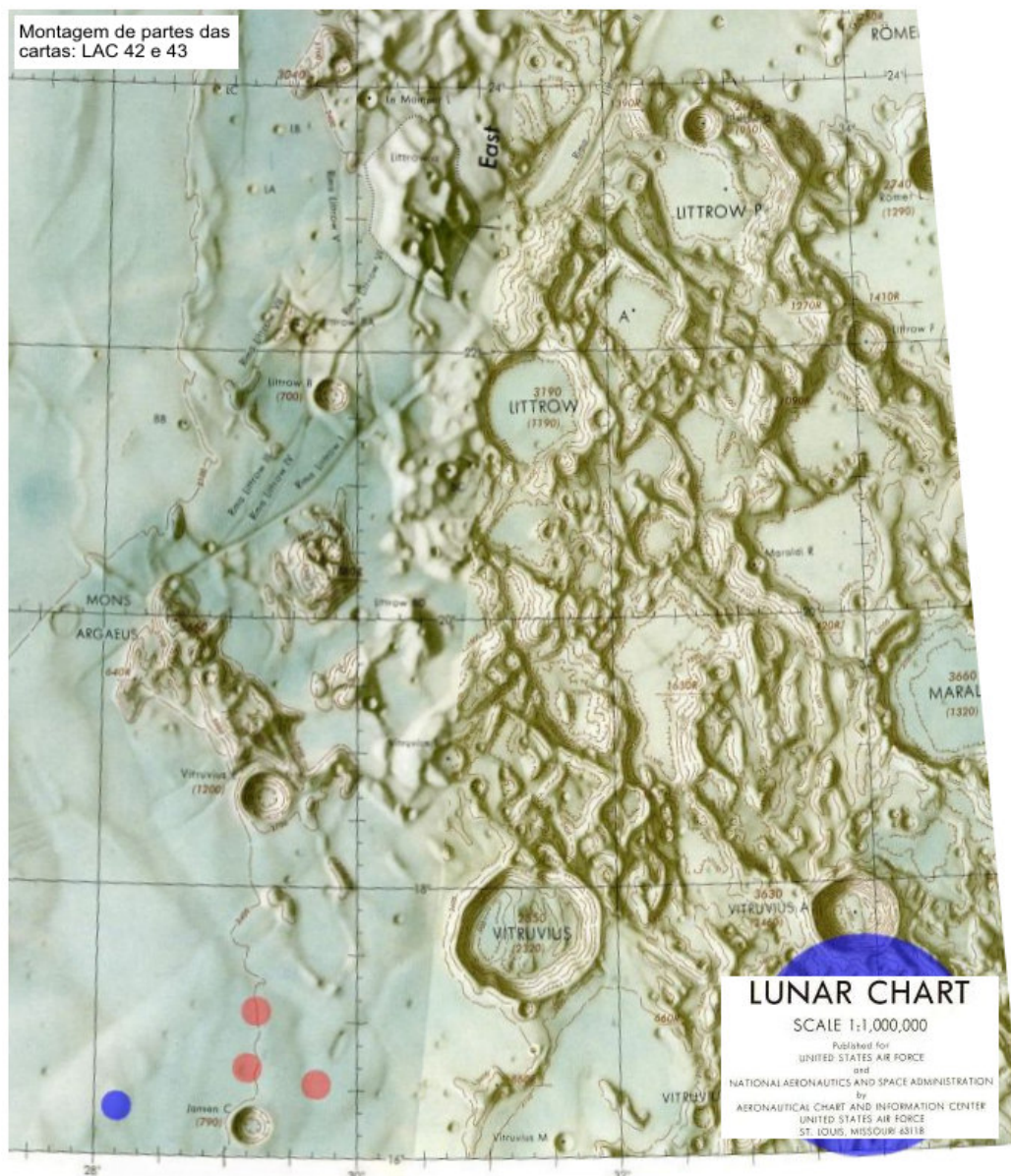
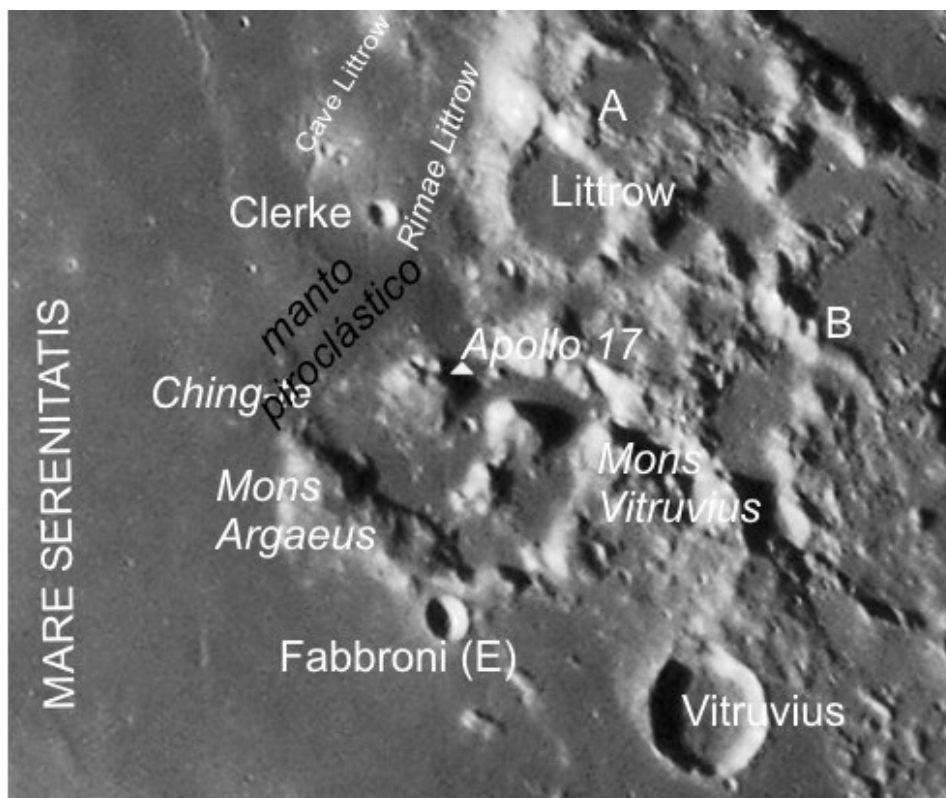


Imagem 3



Crédito: Fabio H. Carvalho - Assis / SP - Br
15/06 08:17UT - Philips Toucam Pro II e telescópio 254mm f/6

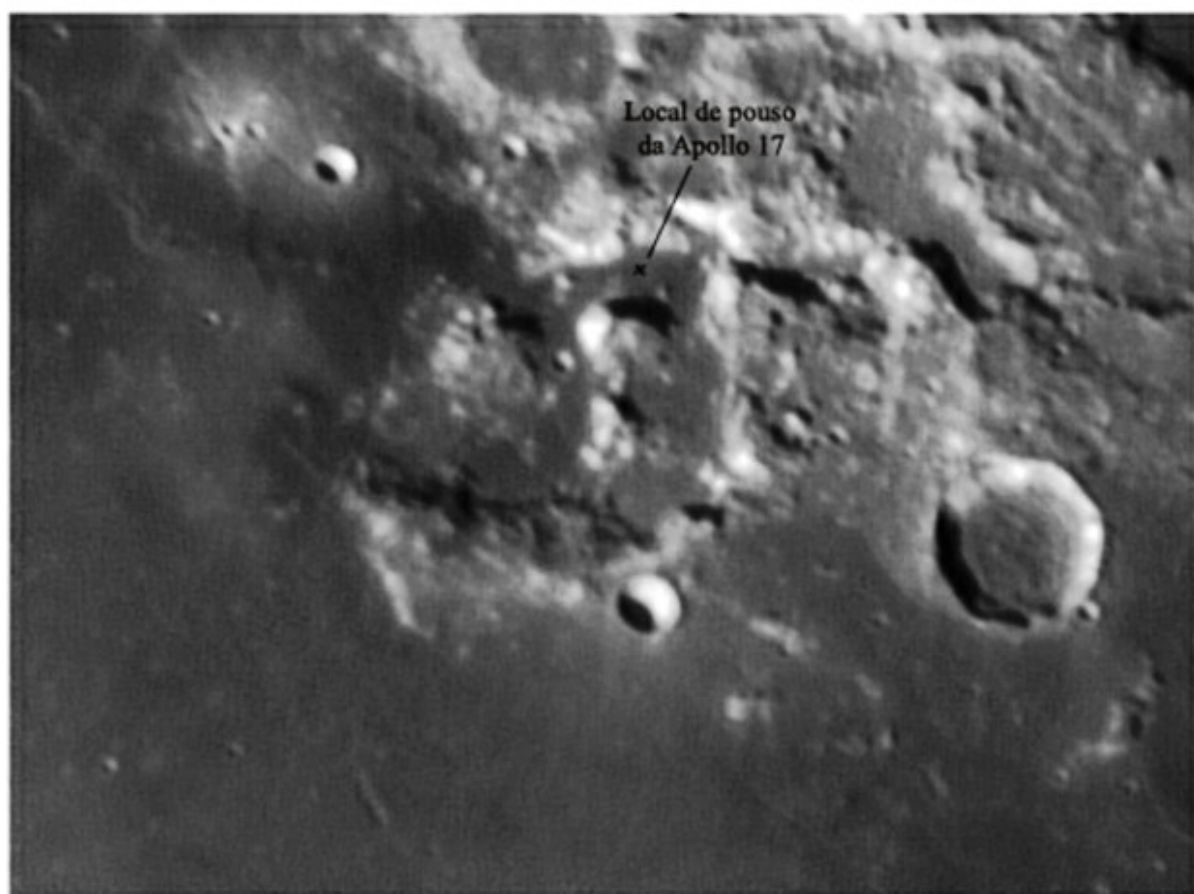


Imagem: Local de pouso da Apollo 17 em Touro-Littrow. Essa região e o local de grande depósito de manto escuro pode ser mais bem observada 5 dias após a Lua Nova ou 4 dias após a Lua cheia.
Crédito: Fabio H. Carvalho.

A extrema escuridão do depósito piroclástico de Touro-Littrow é em grande parte devido à presença de contas pretas. Materiais piroclastos neste e em outros locais da Lua incluem contas de vidro vulcânicas em uma variedade de cores, como também as contas cristalizadas como a preta achada pela Apollo 17. Nesse local também foram achadas contas de vidro laranja, principalmente no material escavado na Cratera **Shorty** (Imagem 4), e são conhecidos para ter o equivalente químico das contas pretas cristalizadas.

Imagem 4



Imagem: Solo de coloração laranja escava pelo astronautas da missão Apollo 17 na borda da cratera "Shorty". Crédito: NASA, Apollo 17.

São pensados que ambos os tipos de materiais piroclastos podem ter sido produzido em erupções de fontes de fogo, possivelmente com duração de vários dias ou semanas. É acreditado que as variações nas taxas de esfriamento de materiais na fonte possa ter produzido vidro extinguido (que esfriou rapidamente) ou contas cristalizadas (que esfriou mais lentamente). Assim, a composição e

distribuição destes materiais podem ser usadas para entender o tipo e a duração da erupção que os formou.

Análises de laboratório dos vidros e contas de piroclastos indicam que, ao contrário a maioria dos materiais lunares, eles são enriquecidos por camadas de elemento volátil de suas regiões ricas em fontes de gás, eles originaram a grandes profundidades (cerca de menos de 400 km) dentro da Lua, e representam os mais básicos ou primitivos dos materiais vulcânicos lunares. Os estudos dos materiais de piroclastos lunares provêm informação sem igual sobre a composição do interior lunar, a origem e evolução do magma basáltico na Lua.

Análises sensitivas distantes destes depósitos ajudaram os cientistas lunares a identificar os componentes característicos de alguns destes depósitos, a restringir a distribuição de depósitos vulcânicos, e entender os estilos de erupção e posição dos basaltos na Lua. Com a cobertura global, provida pelos dados multiespectral da missão Clementine, os cientistas tiveram a oportunidade de caracterizar por completo os depósitos de piroclastos lunares.

Para apreciar o papel dos piroclastos vulcânicos na Lua, os cientistas precisam entender sua composição, distribuição espacial e temporal, relação dos depósitos vulcânicos efusivos, e os

modos de formação dos depósitos de piroclastos. Até que amostras adicionais estejam disponíveis, os dados colhidos à distancia desses locais de piroclastos são os únicos meios de caracterizar por completo estes e outros depósitos com coberturas de mantos escuros.

Referências / Bibliografia

Adams, J.B., C. Pieters, and T.B. McCord, 1974, Orange glass: Evidence for regional deposits of pyroclastic origin on the Moon, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 5th*, 171-186.

Bell, P.M., H.K. Mao, and R.A. Weeks, 1976, Optical spectra and electron paramagnetic resonance of lunar and synthetic glasses: A study of the effects of controlled atmosphere, composition, and temperature, *Proc. Lunar Science Conf. 7th*, 2543-2559.

Blewett, D.T., P.G. Lucey, and B.R. Hawke, 1997, Clementine images of the lunar sample-return stations: Refinement of FeO and TiO₂ mapping techniques, *J. Geophys. Res.*, 102, 16319-16325.

Bussey, D.B.J. and P.D. Spudis, 1997, Compositional analysis of the Orientale basin using full resolution Clementine data: Some preliminary results, *Geophys. Res. Letters*, 24, 445-448.

Coombs, C.R. and B.R. Hawke, 1992, Pyroclastic deposits on the Western Limb of the Moon, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf 22nd*, 303-312.

Coombs, C.R., B.R. Hawke, P.G. Lucey, P.D. Owensby, and S.H. Zisk, 1990, The Alphonsus region: A geologic and remote sensing perspective, *Proc. 20th Lunar and Planet. Sci. Conf.*, 339-353.

Coombs, C.R., B.R. Hawke, and P.G. Lucey, 1990, Pyroclastic deposits in the Nectaris region of the Moon, *Lunar Planet. Sci. XXI*, 226-227.

Craddock, R.A., M.S. Robinson, B.R. Hawke, and A.S. McEwen, 1997, Clementine-based geology of the Moscoviense basin, lunar farside, *Lunar Planetary Science XXVIII*, 265-266.

Delano, J.W., 1986, Pristine lunar glasses: Criteria, Data, and Implications, *Proc. Lunar Planetary Sci. Conf. 16th, Pt.2, J. Geophys. Res.*, 91, D201-D213.

Dyar, M.D. and R.G. Burns, 1981, Coordination chemistry of iron in glasses contributing to remote-sensed spectra of the moon, *Proc. Lunar Planet. Sci. 12B*, 695-702.

Eliason, E.M., 1997, Production of Digital Image Models with the ISIS system, *Lunar and Planetary Science XXVIII*, 331-332.

Eliason, E., A.S. McEwen, M.S. Robinson, E.M. Lee, T. Becker, L. Gaddis, L. Weller, C. Isbell, J. Shinaman, T. Duxbury, and E. Malaret, 1999, Digital processing for a global multispectral map of the Moon from the Clementine UVVIS instrument, *Lunar Planetary Science XXX*, 1933.

- Fischer, E.M. and C.M. Pieters, 1994, Remote determination of exposure degree and iron concentration of lunar soils using VIS-NIR spectroscopic methods, *Icarus*, 111, 475-488.
- Fogel, R.A. and M.J. Rutherford, 1995, Magmatic volatiles in primitive lunar glasses: I. FTIR and EPMA analyses of Apollo 15 green and yellow glasses and revision of the volatile-assisted fire-fountain theory, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 201-215.
- Gaddis, L., B.R. Hawke, and M.S. Robinson, 1997b, Analyses of Three Classes of Small Lunar Pyroclastic Deposits with Clementine Data, *Lunar Planetary Science XXVIII*, p. 389.
- Gaddis, L.R., B.R. Hawke, M.S. Robinson, and C.R. Coombs, 1999, Juvenile materials in lunar pyroclastic deposits, *Lunar Planetary Science XXX*, 1732.
- Gaddis, L.R., and B.R. Hawke, M.S. Robinson, and C. Coombs, Compositional analyses of Small lunar pyroclastic deposits using Clementine multispectral data, *J. Geophys. Res.*, submitted, April 1999.
- Gaddis, L.R., A.S. McEwen, and T. Becker, 1995, Compositional variations on the Moon: Recalibration of Galileo solid-state imaging data for the Orientale region and farside, *J. Geophys. Res.*, 100, 26345-26355.
- Gaddis, L.R., C.M. Pieters, and B.R. Hawke, 1985, Remote sensing of lunar pyroclastic mantling deposits, *Icarus*, 61, 461-489.
- Gaddis, L., C. Rosanova, T. Hare, B.R. Hawke, C. Coombs, and M.S. Robinson, 1998a, Small Lunar Pyroclastic Deposits: A new global perspective, *Lunar Planetary Science XXIX*, pp. 1807-1808.
- Gaddis, L., C.R. Rosanova, B.R. Hawke, C. Coombs, M. Robinson, and J. Sable, 1998b, Integrated multispectral and geophysical datasets: A global view of lunar pyroclastic deposits, *New views of the Moon*, 19-20.
- Gaddis, L., C. Rosanova, T. Hare, B.R. Hawke, C. Coombs, and M.S. Robinson, 1998, Small Lunar Pyroclastic Deposits: A new global perspective, *Lunar and Planetary Science XXIX*, pp. 1710-1711.
- Gaddis, L. and 15 others, 1997a, An Overview of the Integrated Software for Imaging Spectrometers (ISIS), *Lunar and Planetary Science XXVIII*, p. 387-388.
- Hawke, B.R., C.R. Coombs, B.A. Campbell, P.G. Lucey, C.A. Peterson, and S.H. Zisk, 1991, Remote sensing of regional pyroclastic deposits on the North Central portion of the lunar nearside, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 21*, 377-389.
- Hawke, B.R., C.R. Coombs, and B. Clark, 1990, Ilmenite-rich pyroclastic deposits: An ideal lunar resource, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 20th*, 249-258.
- Hawke, B.R., C.R. Coombs, and P.G. Lucey, 1989, A remote sensing and geologic investigation of the Cruger region of the Moon, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 19th*, 127-135.

- Hawke, B.R., C.R. Coombs, L.R. Gaddis, P.G. Lucey, and P.D. Owensby, 1989, Remote sensing and geologic studies of localized dark mantle deposits on the Moon, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 19th*, 255-268.
- Hawke, B.R., C.R. Coombs, L.R. Gaddis, P.G. Lucey, C.A. Peterson, M.S. Robinson, G.A. Smith, and P.D. Spudis, 1997, Remote sensing studies of geologic units in the eastern Nectaris region of the Moon, *Lunar Planet. Sci. XXVIII*, 432-433.
- Head, J.W., III, 1974, Lunar dark-mantle deposits: Possible clues to the distribution of early mare deposits, *Proc. Lunar Sci. Conf. 5th*, 207-222.
- Head, J.W. and L. Wilson, 1979, Alphonsus-type dark-halo craters: Morphology, morphometry, and eruption conditions, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 10th*, 2861-2897.
- Head, J.W. and L. Wilson, 1992, Lunar mare volcanism: Stratigraphy, eruption conditions, and the evolution of secondary crusts, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 2155-2175.
- Head, J.W., L. Wilson, and C. Weitz, 1997, The dark ring in southwestern lunar Orientale basin: Origin as a single pyroclastic eruption, *Lunar and Planetary Science XXVIII*, 543-544.
- Heiken, G.H. and D.S. McKay, 1978, Petrology of a sequence of pyroclastic rocks from the valley of Taurus-Littrow (Apollo 17 landing site), *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 9th*, 1933-1943.
- Heiken, G.H., D.S. McKay, and R.W. Brown, 1974, Lunar deposits of possible pyroclastic origin, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 1703-1718.
- Longhi, J., 1992, Origin of Picritic Green Glass Magmas by Polybaric Fractional Fusion, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 22*, 343-353.
- Lucchitta, B.K., 1978, Geologic map of the north side of the Moon, *U.S.G.S. Misc. Inv. Map I-1062*, 1:5,000,000 scale.
- Lucchitta, B.K. and H.H. Schmitt, 1974, Orange material in the Sulpicius Gallus Formation at the southwestern edge of Mare Serenitatis, *PLC 5th*, 223-234.
- Lucey, P.G., D.T. Blewett, and B.R. Hawke, 1998a, Mapping the FeO and TiO² content of the lunar surface with multispectral imagery, *J. Geophys. Res.*, 103(E2), 3679-3699.
- Lucey, P.G., B.R. Hawke, C.M. Pieters, J.W. Head, and T.B. McCord, 1986, A compositional study of the Aristarchus region of the Moon using near-infrared reflectance spectroscopy, *J. Geophys. Res.*, 91, D344-D354.
- Lucey, P.G., G.J. Taylor, and B.R. Hawke, 1998b, Global imaging of maturity: Results from Clementine and lunar sample studies, *Lunar and Planetary Science XXIX*, 1356-1357.
- McCord, T.B., R.M. Clark, B.R. Hawke, L.A. McFadden, P.D. Owensby, C.M. Pieters, and J.B. Adams, 1981, Moon: Near-Infrared Spectral Reflectance, A First Good Look, *J. Geophys. Res.*, 86, 10883-10892.

- McEwen, A.S., 1991, Photometric functions for photoclinometry and other applications, *Icarus*, v. 92, 298-311.
- McEwen, A.S., 1996, A precise lunar photometric function, *Lunar Planetary Science XXVII*, 841-842.
- McEwen, A.S., E. Eliason, P. Lucey, E. Malaret, C. Pieters, M. Robinson, and T. Sucharski, 1998, Summary of radiometric calibration and photometric normalization steps for the Clementine UVVIS images, *Lunar and Planetary Science XXIX*, 1466-1467.
- McEwen, A.S. and M.S. Robinson, 1997, Mapping the the Moon by Clementine, *Adv. Space Res.*, 19, 1523-1533.
- McEwen, A.S., M.S. Robinson, E.M. Eliason, P.G. Lucey, T.C. Duxbury, and P.D. Spudis, 1994, Clementine observations of the Aristarchus region of the Moon, *Science*, 266, 1858-1862.
- McKay, D.S., G.H. Heiken, and G. Waits, 1978, Core 74001/2: Grain size and petrology as a key to the rate of in-situ reworking and lateral transport on the lunar surface, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 9th*, 1913-1932.
- Nagle, J.S., 1978, A comparison of a lunar and a terrestrial volcanic section, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 9th*, 1509-1526.
- Neal, C.R. and L.A. Taylor, 1992, Petrogenesis of mare basalts: A record of lunar volcanism, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 2177-2211.
- Neumann, G.A., M.T. Zuber, D.E. Smith, and F.G. Lemoine, 1996, The lunar crust: Global structure and signature of major basins, *J. Geophys. Res.*, 101, 16841-16863.
- Papike, J.J. and J. Wyszynski, 1980, Apollo 17 drive tube 76001: Modal petrology, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 11th*, 1609-1621.
- Papike, J.J., G. Ryder, and C.K. Shearer, 1998, Lunar Samples, Ch. 5 in *Planetary Materials*, J.J. Papike, Ed., 5-1 to 5-234.
- Peterson, C.A., B.R. Hawke, P.G. Lucey, and C.R. Coombs, 1995, Spectral reflectance studies of the Grimaldi region of the Moon, *Geophys. Res. Letters*, 22, 3055-3058.
- Pieters, C.M., 1986, Composition of the lunar highland crust from near-infrared spectroscopy, *Rev. Geophys.*, 24, 557-578.
- Pieters, C.M., E.M. Fischer, O. Rode, A. Basu, 1993, Optical effects of space weathering: The role of the finest fraction, *J. Geophys. Res.*, 98, 20817-20824.
- Pieters, C.M., B.R. Hawke, P. Butler, S. Waltz, and J.S. Nagle, 1980, Multispectral imaging of the lunar regolith core samples: Preliminary results for 74002, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 11th*, 1593-1608.
- Pieters, C.M., G. He, M. Staid, S. Thompkins, and E. Fischer, 1997, Clementine UVVIS data calibration and processing, an online document, <http://www.planetary.brown.edu/clementine/calibration.html>.

- Pieters, C.M., T.B. McCord, Charette, M.P., and J.B. Adams, 1974, Lunar surface: Identification of the dark mantling material in the Apollo 17 soil samples, *Science*, 183, 1191-1194.
- Pieters, C.M., T.B. McCord, S.H. Zisk, and J.B. Adams, 1973, Lunar black spots and the nature of the Apollo 17 landing area, *J. Geophys. Res.*, 78, 5867-5875.
- Pieters, C.M., A. Meloy, J.S. Nagle, and B.R. Hawke, 1981, Core segment 15008: Regolith stratigraphy at Apennine Front Station 2 using multispectral imaging, *Proc. Lunar Planet. Sci 12B*, 451-461.
- Pieters, C.M., J.W. Head, J.M. Sunshine, E.M. Fischer, S.L. Murchie, M. Belton, A. McEwen, L. Gaddis, R. Greeley, G. Neukum, R. Jaumann, and H. Hoffmann, 1993, Crustal diversity of the Moon: Compositional analyses of Galileo SSI data, *J. Geophys. Res.*, v. 98, pp. 17127-17148.
- Robinson, M.S., A. S. McEwen, E. M. Eliason, E. M. Lee, E. Malaret, P. Lucey, 1999, Clementine UVVIS Global Mosaic: A new tool for understanding the lunar crust, *Lunar and Planetary Science XXX*, 1931-1932.
- Robinson, M., E. M. Shoemaker, and B. R. Hawke, 1996, Spectral heterogeneity of lunar local dark mantle deposits, *Lunar and Planetary Science XXVII*, 1087-1088.
- Rosanova, C., L. Gaddis, T. M. Hare, C. Coombs, B. R. Hawke, and M. S. Robinson, 1998, Characterization of "new" pyroclastic deposits on the Moon using Clementine data, *Lunar and Planetary Science XXIX*, 1807-1808.
- Schultz, P.H., 1976, Floor-fractured lunar craters, *The Moon*, 15, 241-273.
- Shearer, C.K., G.D. Layne, and J.J. Papike, 1994, The systematics of light lithophile elements (Li, Be, and B) in lunar picritic glasses: Implications for basaltic magmatism on the Moon and the origin of the Moon, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 23, 5349-5362.
- Shearer, C.K. and J.J. Papike, 1993, Basaltic magmatism on the Moon: A perspective from volcanic picritic glass beads, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 4785-4812.
- Shearer, C.K., J.J. Papike, K.C. Galbreath, and N. Shimizu, 1991, Exploring the lunar mantle with secondary ion mass spectrometry: A comparison of lunar picritic glass beads from Apollo 14 and Apollo 17 sites, *Earth and Planetary Science Letters*, 102, 134-147.
- Shearer, C.K., J.J. Papike, and G.D. Layne, 1996a, Deciphering basaltic magmatism on the Moon from the compositional variations in the Apollo 15 very low-Ti picritic magmas, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 509-528.
- Shearer, C.K., J.J. Papike, and G.D. Layne, 1996b, The role of ilmenite in the source region for mare basalts: Evidence from niobium, zirconium, and cerium in picritic glasses, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 3521-3530.
- Shearer, C.K., J.J. Papike, S.B. Simon, N. Shimizu, H. Yurimoto, and S. Sueno, 1990, Ion microprobe studies of trace elements in Apollo 14 volcanic glass beads: Comparisons to Apollo 14 mare basalts and petrogenesis of picritic magmas, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 851-867.

Shoemaker, E. M., M.S. Robinson, and E. M. Eliason, 1994, The South Pole region of the Moon as seen by Clementine, *Science*, v. 266, 1851-1854.

Spudis, P.D., 1989, Young dark mantle deposits on the Moon, *NASA TM 4210*, 406-407.

Steele, A., 1992, Apollo 15 Green Glass: Relationships between texture and composition, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 22*, 329-341.

Tompkins, S. and C.M. Pieters, 1999, Mineralogy of the lunar crust: Results from Clementine, *Meteoritics and Planetary Science*, 34, 25-41.

Torson, J. and K. Becker, 1997, ISIS - A software architecture for processing planetary images, *Lunar and Planetary Science XXVIII*, 1443-1444.

Weitz, C.A., J.W. Head, III, and C.M. Pieters, 1998, Lunar regional dark mantle deposits: Geologic, multispectral, and modeling studies, *J. Geophys. Res.*, v. 103, 22725-22759.

Weitz, C.A., M.J. Rutherford, and J.W. Head, III, 1997, Oxidation states and ascent history of the Apollo 17 volcanic beads as inferred from metal-glass equilibria, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 2765-2775.

Whitford-Stark, J.L., 1990, The volcanotectonic evolution of Mare Frigoris, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 20th*, 175-185.

Wichman, R.W. and P.H. Schultz, 1995, Floor-fractured craters in Mare Smythii and west of Oceanus Procellarum: Implications of crater modification by viscous relaxation and igneous intrusion models, *J. Geophys. Res.*, 100, 21201-21218.

Wilhelms, D.E. and J.F. McCauley, 1971, Geologic map of the Near Side of the Moon, *USGS Misc. Geol. Inv. Map I-703*, 1:5,000,000 scale.

Wilson, L.W., and J.W. Head, III, 1981, Ascent and eruption of basaltic magma on the Earth and Moon, *J. Geophys. Res.*, 86, 2971-3001.

Yingst, R.A. and J.W. Head, III, 1997, Volumes of lunar lava ponds in South Pole-Aitken Basin and Orientale Basin: Implications for eruption conditions, transport mechanisms, and magma source regions, *J. Geophys. Res.*, 102, 10909-10931.

Yingst, R.A. and J.W. Head, III, 1998, Characteristics of lunar mare deposits in Smythii and Marginis basins: Implications for magma transport mechanisms, *J. Geophys. Res.*, 103, 11135-11158.

Zisk, S.H., C.A. Hodges, H.J. Moore, R.W. Shorthill, T.W. Thompson, E.A. Whitaker, and D.E. Wilhelms, 1977, The Aristarchus-Harbinger region of the Moon: Surface geology and history from recent remote-sensing observations, *The Moon*, 17, 59-99.

<http://astrogeology.usgs.gov/Projects/LunarPyroclasticVolcanism/lunpyroWebovervu.html>

Pesquisa por: R.Gregio - slunar@uol.com.br
www.reabrasil.org/lunar