2012: a hora última

C. Guillermo Giménez de Castro
Professor na Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
guigue@gcastro.net
http://www.guigue.gcastro.net

8 de Dezembro de 2011

A presente obra é distribuida sob licença **Creative Commons** de reconhecimento não comercial sem obras derivativas 3.0. Mais informações: `http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/pt/`.

Doomsday

Será quando o trompete ressõe, como escreve São João o teólogo.
Tem sido em 1757, segundo o testemunho de Swedenborg.
Foi em Israel quando a loba cravou na cruz a carne de Cristo, mas
não apenas então.
Acontece em cada pulsação de teu sangue.
Não há um instante que não possa ser a cratera do Inferno.
Não há um instante que não possa ser a água do Paraíso.
Não há um instante que não esteja carregado como uma arma.
Em cada instante podes ser Caín ou Siddharta, a máscara ou o rosto.
Em cada instante pode revelar-te seu amor Helena de Troia.
Em cada instante o galo pode ter cantado três vezes.
Em cada instante a clepsidra deixa cair a última gota.

Jorge Luis Borges

Conteúdo

I Os maias e as profecias **1**

1 2012:Apocalipse *New Age* **3**

2 Para onde foram os Maias? **7**
2.1 Geografia e História Maia 8
2.1.1 Preclássico [2000 AC - 250 DC] 9
2.1.2 Clássico [250 - 1100] 9
2.1.3 Posclássico [1100 - até a Conquista] 11
2.1.4 A Conquista 12
2.2 O mistério da *desaparição* dos maias 12
2.3 A desaparição dos maias 13
2.4 Epílogo 15
2.5 Referências Bibliográficas 15

3 O Calendário Maia **17**
3.1 Calendários: por que, para que, como? 18
3.2 Ciclos, ciclos, ciclos 21
3.2.1 El Tzol'kin 21
3.2.2 O Haab 22
3.2.3 O Ciclo de Calendário 23
3.2.4 A Contagem Longa 23
3.2.5 A Mãe de todos os Calendários 25
3.2.6 A Precisão do Calendário Maia 26
3.3 Referências Bibliográficas 28

4 As *Profecias* de 2012 **29**
4.1 Alinhamento Galático 30
4.1.1 A Astrologia Galática Axial de J.M. Jenkins 35
4.2 Mega Explosão Solar 41
4.3 Inversão dos pólos Magnéticos 43
4.4 Bibliografia 46

II À luz das ciências **49**

5 O mistério do jato galático **51**
5.1 O qué é uma galáxia? 53
5.2 Estrelas 55

5.3 **Gás** 59
5.4 Distribuição da matéria 61
5.5 Galáxias de Núcleo Ativo (*AGN*) 63
5.6 A Via Láctea 63
5.7 Uma Bibliografia Básica 66

6 Nada de novo debaixo do Sol 67
6.1 O *calmo* Sol 68
6.2 O ciclo solar 69
6.3 A Atmosfera solar 71
6.3.1 Fotosfera 72
6.3.2 Cromosfera 75
6.3.3 Coroa 77
6.4 Tempestades, explosões e ejeções 80
6.5 Influência da Atividade Solar na Terra: Clima Espacial 82
6.6 Uma Bibliografia Básica 86

7 O magnetismo terrestre 87
7.1 O Dínamo Terrestre 88
7.2 Inversões Magnéticas 89
7.3 O escudo magnético 90
7.4 Uma Bibliografia Básica 90

III Depois de 2012 93

8 Epílogo 95
8.1 O interesse por questões científicas e históricas 96
8.2 O Apocalipse *que nunca chega* 96
8.3 O Fim do Fim 100

A Notação Científica 101
A.1 Multiplicação 103
A.2 Adição 103

B Distâncias Astronômicas 105
B.1 Medidas por Ecos 106
B.2 Paralaxe 107
B.3 Estrelas Variáveis 108
B.4 Distâncias Cosmológicas 108
B.4.1 Teoria Atômica 109
B.4.2 O Efeito Doppler 109

C Radiação de Corpo Negro 111

Parte I

Os maias e as profecias

Capítulo 1

2012:Apocalipse *New Age*

Áspero é o rosto de Deus neste dia e ásperas as coisas que traz.
(Registro maia para o dia 5 Ahau.)

No Calendário Gregoriano será 21 de dezembro de 2012, no Calendário Maia 13,0,0,0,0 e em Dia Juliano 2.456.283. Esta é a cifra da nova Besta, aquela que virá para acabar com a humanidade. Não será um monstro de 7 cabeças e 10 chifres desta vez. Dizem que três conjuções nos esperam quando cheguemos no fim da Contagem Longa do Calendário Maia: durante o solstício haverá um alinhamento do Sol com o plano galáctico, o Sol terá uma atividade desconhecida até agora capaz de destruir todos nossos sofisticados sistemas de navegação e comunicações e o campo magnético da Terra sofrerá uma inversão súbita dando origem a imensas tensões na Terra. En síntese, um caos. Que acontecerá depois desse dia, o Fim ou um Novo Início?

Desde que eu sou pequeno leio sobre presságios de Fim de Mundo. Crescí com o temor de uma guerra nuclear acabar com a civilização. Confesso que durante minha infância e juventude nunca fiz planos para além de 2000. Era intiuitivo, não tinha nada de racional.

De certa forma é razoável a preocupação com o Fim do Mundo. Somos mortais, nossa única certeza é a da nossa própria morte. Ao longo da vida vamos primeiro nos acostumando com a ideia de morrer, depois, nos preparando de alguma forma para o nosso último ato. Prevê-lo, pensá-lo, é uma forma de vencé-lo, talvez. Assim também atuamos em relação ao Mundo. Antecipar o seu fim nos dá alguma forma de tranquilidade.

E agora estamos sendo colocados diante de um novo hito. Depois de ter vencido a passagem do milênio, nos aguarda outra data magna em pouco tempo. O que tem de particular? Bom, simplesmente que uma folha do Calendário maia deve ser descartada, e começa uma espécie de Ano Novo. Um ano de 1.872.000 dias que, segundo arqueólogos modernos, teria começado em 13 de agosto de 3114 A.C. Como todo Ano Novo, seguramente os maias temeram o que viesse depois. Deixaram presságios, fórmulas para esperar um acontecimento tão importante. Promessas para melhorar nossa sociedade, e votos para acabar com medos e doenças. Talvez pensaram seriamente que viria um Fim de Mundo. De todas formas, mais de 1000 anos os separava da data temida. 2012 ficava para eles tão longe como o Big Bang para nós.

A cultura que gerou essa tradição não existe mais (embora os maias sim continuem existindo, como podemos comprová-lo viajando ao México, Guatemala ou Belize), mas nossa sociedade neurótica de temores recuperou seus mitos. Quem sabe se os interpretamos corretamente? As crenças só têm sentido dentro do ambiente em que foram criadas. Hoje, 2012 convertiu-se em um ícone New Age afastado da cultura maia. Entre tanto Google me informa que mais de 1 milhão de páginas de Internet contêm as palavras 2012 e apocalipse (fiz a procura em espanhol, inglês e português). Contadores regressivos nos dizem quantos dias, horas, minutos e segundos faltam para o fim. Diferentes intérpretes se esforçam por dar a versão mais estremecedora do último ato de nossa sociedade.

Ao olhar para este quadro um tanto desolador me perguntei como evitar

tanta ansiedade desnecessária... A resposta é este livro, que pretende algo mais ainda: aproveitar o interesse em temas tão científicos como a física solar, a astronomia galáctica ou a geofísica para colocar estes temas de forma clara e simples para qualquer pessoa. E embora eu não sou arqueólogo nem historiador, também darei informações sobre a história maia. É uma oportunidade importante que coloca em evidência o interesse latente das pessoas na ciência. Aqui, o leitor poderá achar juntos, uma descrição e análise das profecias de 2012 à luz da ciência, uma história sucinta dos maias, uma explicação do seu célebre calendário, que é a peça chave deste fenômeno, e uma introdução aos elementos mais importantes em torno às profecias: o Sol, o Geomagnetismo e as Galáxias.

Tentei fazer o texto o mais atrativo que pude e ao mesmo tempo coloquei as referências mais atualizadas em cada tema. Os textos consultados são livros escritos por pesquisadores da área ou artigos científicos publicados em revistas especializadas. Como consulta externa escolhi sempre a Wikipedia por dois motivos, em primeiro lugar porque eu sou ao mesmo tempo um usuário e um contribuidor da mesma e em segundo lugar porque ela é acessível para todo mundo sem limitações tanto em espanhol como em português.

Como em todo projeto devo alguns agradecimentos: a Santiago Giménez de Castro e Marcela Claudia Marciani pelas correções e discusões sobre o texto. Se eu tenho que dedicar este livro, deveria começar por meu pai que me introduziu na cultura maia quando era apenas uma criança. Na sua biblioteca havia (agora está na minha) um livro sobre os maias: *World of the maya*, de Víctor von Hagen. A sua dedicatória era singular: aos americanos e sua aficção pelo chiclete, que impulsionaram a exploração da floresta mesoamericana que levou à descoberta de incontávei ruinas maias. Em parte, esta nova adesão à cultura maia tem a mesma origem. Então a eles também vai dedicado meu livro.

Convido todos a percorrer o caminho para o 2012 que, definitivamente, não será nossa última hora.

Capítulo 2

Para onde foram os Maias?

Depois que os conquistadores espanhóis acabaram com sua resistência, quase no fim do século XVII, o povo maia *sumiu* da história até que em meados do século XIX, os arqueólogos os *re-descobriram* e se interessaram por sua cultura e história. Era tarde já, os espanhóis tinham destruído uma boa parte de seu legado, principalmente os **códices**, livros pintados sobre papel feito de casca de árvore, dos quais recuperamos apenas três: um guardado na Biblioteca de Dresden, outro na Biblioteca Nacional de Paris, e o terceiro no Museu Arequeológico de Madri. O resto foi resultado do tempo que roeu as edificações, monumentos e demais remanescentes da cultura; dos saqueadores de tesouros arqueológicos e, ultimamente, da *globalização* que invade tudo e que começou um processo de substitução de vasilhas e vestimentas tradicionais, por produtos *Made in China*.

Talvez o primeiro *mistério* que devemos esclarecer é que **os maias não se extinguiram**. Calcula-se que 6 milhões de pessoas se identificam hoje como *maias* e continuam vivendo nas regiões que ocupavam seus ancestrais há 500 anos quando a Quarta Expedição de Colombo fez contato con eles pela primeira vez. A confusão sobre o suposto fim dos maias extende-se ao âmbito erudito. Heather Pringle, editora da revista Archaeology, publicou na revista Science o artigo *A New Look at the Maya's End* (Uma nova mirada sobre o Fim dos Maias, ver nas Referências Bibliográficas). Uma semana depois, vários leitores protestaram por carta pelo título falho. O que aconteceu na realidade foi que os centros rituais e comerciais maias foram abandonados num processo lento que levou décadas, provavelmente mais de 100 anos e que começou com a decadência de seus governos até a evacuação completa do lugar. Enquanto acontecia isto, suas populações iam migrando para outros sítios onde podiam prosperar.

Tem mais sobre o *fim dos maias*: este processo de abandono dos centros urbanizados não aconteceu uma única vez. Parece ter sido uma *tradição* que praticaram ao longo de toda sua história, nos diferentes lugares que habitaram.

Os maias produziram uma cultura magnífica, em grande parte perdida durante a conquista espanhola, que ao mesmo tempo favoreceu a origem do *mistério*. Os maias post-conquista perderam seus chamanes, seus sacerdotes e seus livros. Foram dominados e obrigados a aceitar outras crenças, incorporaram muitos elementos da cultura européia e esqueceram uma boa parte da própria. Eles a desconhecem hoje tanto quanto nós. Os arqueólogos, por outro lado, esforçaram-se nos últimos 150 anos por desvendar seus segredos, mas no balanço final parece que as incógnitas superam as certezas. Nas seguintes linhas comentarei sumariamente os elementos mais importantes da história e cultura maias, sem a pretensão do erudito, mas tentando sempre manter a cabeça firme sobre os fatos que têm uma base demonstrável. Ao longo de todo o texto, quando me referir aos maias, estarei falando dos maias *antigos*, do período, 400 AC até a chegada dos espanhois em 1492.

2.1 Geografia e História Maia

Os maias se extenderam pela América Central, desde o Sul do México, até Honduras e El salvador (ver mapa na Figura 2.1). Ocuparam uma área de pouco

mais de 300.000 km^2 (aproximadamente o tamanho da Alemanha), de características muito diferentes: desde regiões semi-áridas, de escassas chuvas (as *terras baixas do norte* na península de Yucatán) até alturas de difícil acesso (as *terras altas*), passando pelas florestas tropicais muito férteis. Cada lugar marcou as possibilidades de sua economia e os limites de sua expansão.

Os arqueólogos dividem a história maia em três períodos: preclássico, clássico e posclássico. Os primeiros habitantes teriam chegado em torno do ano 12.000 AC embora as primeiras sociedades preclássicas, (os primeiros grupos que abandonam o nomadismo e constroem cidades), são do ano 2.000 AC, sendo a região da costa do Pacífico onde evoluiram primeiramente para depois, no final do período preclássico, se extender mais para o norte. A sociedade preclássica também sofreu mudanças em sua estrutura de governo, trocando os *chefes* por reis que começaram a receber o nome de *ajaw* e aumentaram o âmbito de poder, levando-o além de sua cidade. Desta forma surgiram as *cidades estado*, que foram a forma mais sofisticada de organização política. Ao crescer, as cidades entraram em conflito entre elas, houve muitas guerras. Os maias eram um povo guerreiro.

2.1.1 Preclássico [2000 AC - 250 DC]

Entre as cidades mais destacadas do período preclássico estão El Mirador, na região das terras baixas de Guatemala, e Kaminaljuyu, perto da capital guatemalteca. A primeira foi beneficiada pela agricultura e a produção de sal, enquanto que a segunda controlava o comércio com as culturas do México Central (por exemplo, Teotihuacán, outra civilização *perdida* da Mesoamérica). Foi em Kaminaljuyu onde os reis começaram a ter um aura superior: seus magníficos túmulos e a preocupação por mostrar suas origens e contar sua ascendência são claros sinais disto. El Mirador contou com os maiores templos e uma rede de caminhos que lhe permitia exercer seu domínio sobre os povos vizinhos. Juntas, El Mirador e Kaminaljuyu, foram muito maiores que suas rivais e por isso podem muito bem receber o título de *capitais*. Ambas pereceram muito rapidamente também. Muitas outras cidades da época preclássica foram abandonadas, enquanto acontecia a ascenção das cidades que iriam dominar durante o período clássico. As razões do declínio que levou ao abandono são até hoje em dia desconhecidas. Mas, como veremos, estas foram, apenas, as primeiras cidades.

2.1.2 Clássico [250 - 1100]

Foi nesta época que os maias alcançaram o apogeu. A *polis* de Tikal, nas *terras baixas* guatemaltecas torna-se uma das cidades mais poderosas. Durante o período preclássico (em torno do ano 100) o rei Yax Ehb'Xook inaugurou uma dinastia que governaria até o fim dos anos 800. Cada vez mais poderosos, os reis de Tikal foram elevados ao nível de deuses (*K'uhul ajaw*), e ordenaram a construção de uma gigantesca acrópole onde seriam enterrados em suntuosos túmulos. O poder de Tikal extendeu-se por quilômetros abarcando várias cidades da região.

Figura 2.1: O seguinte mapa mostra a localização dos restos de algumas das cidades mais importantes da antigüidade maia. O mapa tem aproximadamente as dimensões da área geográfica sobre a que se estendeu a cultura maia antiga, abarcando o sul do México, a península de Yucatán, Belize, Guatemala e parte de Honduras e El salvador. Os primeiros assentamentos se formaram nas alturas ao sul da Guatemala (Kaminaljuyu). Lentamente foram migrando para o norte (Copán, Tikal e Calakmul). Durante o final do período clássico floresceram as cidades de Chichen Itzá e Uxmal, ao norte da península de Yucatán. A ilha de Cozumel, perto de Cancún, teve uma das últimas comunidades ativas, comerciando até com os *méxica* (astecas).

Num vale a 700 m de altura, fazendo divisa com as *terras altas* do sul, o rival mais importante de Tikal foi Copán, cuja historiografia é conhecida desde aproximadamente 321 AC na era preclássica e até 822 DC. Copán teve também reis deuses, uma acrópole monumental e poder sobre as cidades vizinhas. Tamanha ostentação de poder augurava guerras: Tikal apoderou-se de Copán em 420 DC. Pouco depois Calakmul invadiu Tikal e lhe causou enormes danos. A rivalidade continuou e em 695 Tikal conseguiu se apoderar de Calakmul. A glória de Tikal iria perdurar poucos anos, em 889 a dinastia acabou e a cidade ficou abandonada. De fato todas as cidades *clássicas* ficaram abandonadas por volta do ano 900. No entanto o ciclo de ascenção e decadência de novas cidades não acabaria aqui. Durante o fim do clássico, Chichen Itza destacaria-se como uma das cidades maias mais brilhantes.

Chichen Itza foi fundada por povos não originários da península de Yucatán e por isso eram chamados de *Itza*: *aqueles que falam nossa lingua de forma entrecortada*. Chichen Itza representou várias revoluções na cultura maia, em primeiro lugar deixou de considerar a seus reis como seres superiores, e os chamou simplesmente *ajaw* (senhores), de certa forma democratizou o governo incluindo conselhos de consulta. No campo da economia, diversificou as fontes de ingressos e chegou a ter uma produção *pre-industrial* com uma ampla rede de distribuição de seus produtos. Por último, diferenciou-se das outras culturas maias introduzindo o culto a **K'uk'ulkan**, a *serpente empenada* conhecida pelos *méxica* (astecas) como **Quetzalcoatl**. A cultura Itza dominou a região norte da península de Yucatán por dois séculos, entre 850 e 1100 DC e foi a última a se submeter ao poder espanhol em 1697.

Não podemos esquecer neste período da história maia antiga a Palenque, que produziu uma das mais longas dinastias e uma das cidades mais fastuosas e densamente habitadas. Sua origem data do ano 200 AC e, como as outras cidades do período clássico, brilhou por volta de 600 DC para ficar completamente abandonada no fim dos anos 900.

2.1.3 Posclássico [1100 - até a Conquista]

A queda dos grandes centros maias não deteve a aparição de novas cidades durante o chamado período *posclássico*, como Mayapán na península de Yucatán ou as da ilha de Cozumel. Também cresceu muito fortemente a região do lago Petén (Guatemala) estendendo-se sobre Belize. As terras altas sofreram importantes mudanças, a cidade de Kaminaljuyu foi completamente abandonada depois de 2.000 anos de ocupação e novos centros foram fundados, esta vez mais protegidos, o que indicaria aumento da violência. Crônicas maias como o *Popol Vuh* relatam a chegada às terras altas de príncipes originários da mítica cidade de Tollan, para fundar novas dinastias. Isto seria um indício da expansão para o sul das culturas da Costa do Golfo. Em 1350 os *K'iche* conseguiram controlar a região central onde fundaram várias cidades (Iximche, Utlatan, etc). A população voltou a aumentar em número e a economia a florescer incrementando os intercâmbios comerciais.

2.1.4 A Conquista

São estas sociedades as que encontraram os *conquistadores* espanhois em 1524. Reis menos arrogantes e cidades mais humildes, mas um povo sempre guerreiro que se defendeu durante quase 200 anos. O mesmo Hernán Cortés que subjugou os astecas em 1521, enviaria a Pedro de Alvarado em 1524 dominar os povos *K'iche* das terras altas. Ele tomou e destruiu a cidade de Utlatán matando todos seus governantes. Em 1527 toda a região das terras altas era dominada e *Ciudad Vieja* fundada. Isto permitiu o avanço sobre as terras baixas, liderado por Francisco de Montejo. Tanto tempo levou a conquista que foi seu filho quem dominou completamente as cidades mais poderosas da península de Yucatán em 1546, 20 anos depois e fundou a *Muy Noble y Leal Ciudad de Mérida* (1542). Os últimos grupos a se resistir pertenciam à etnia Itza, próximos da região do lago Petén. A cidade de Tayasal, última capital maia, caiu a princípios de 1697, 194 anos depois que a última expedição de Colombo entrara em contato com o povo maia pela primeira vez.

A pesar do reduzido número de soldados utilizados na conquista (nunca mais de 500) o sucesso espanhol deve-se a três fatores: 1) armas explosivas, 2) aplicação de práticas de guerra brutais e 3) alianças. A Malinche não foi uma exceção de Cortés, mas foi a regra: *divide et impera*. Os espahnois souberam explorar a rivalidade de séculos de guerras internas entre os povos maias, seus desejos de vingança e a sede por recuperar algum poder perdido.

2.2 O mistério da *desaparição* dos maias

Por que razão os maias abandonaram as suas cidades, mesmo as maiores e mais protegidas? Os arqueólogos não podem responder com uma única razão. E acredito que deva ser mesmo assim: cada caso é um caso diferente. De uma forma geral, talvez a explicação mais simples é que os maias foram vítimas de seu próprio sucesso. As cidades se tornaram muito grandes, os recursos começaram a escassear, as frustrações aumentaram junto com o medo. Isso criou revoltas. Os reis eram desobedecidos e as cidades finalmente abandonadas. Tudo aconteceu em um prazo de 200 anos aproximadamente. O estranho é a falta de ressistância do sistema político para reter o poder. Isso mostra uma certa fragilidade ou, talvez, uma certa flexibilidade da cultura maia. Porque não aconteceu uma vez, em uma única época, mas ao longo de toda a história maia antiga. Desde o início, como relatado, cidades tiveram uma vida, que nos padrões históricos recentes, considerariamos efêmera.

Um motivo apontado por Sharer e Traxler (ver referências bibliográficas) é a prática do cultivo usando as queimadas para adubar a terra, que obrigam a descansar por um periodo de 2 anos antes de voltar a usar. A população total estimada durante o periodo classico ultrapassou os 10 milhões de habitantes que para a pequena região onde moravam deve ter sido um problema sério de infraestrutura para as técnicas conhecidas. Outros motivos para o declínio foram as guerras: Tikal, Copán e Kalakmul se desafiaram por séculos esgotando os recursos que tinham e deixando exânimes às populações.

No entanto existem sinais de elementos externos em alguns dos casos. Por exemplo, há evidências de secas prolongadas entre os anos de 750 e 950, justo quando se acentuou o declínio das cidades do periodo clássico. As secas poderiam ter sido promovidas pelos próprios maias: eles devastaram suas próprias florestas o que diminuiu o ritmo das chuvas (ver o artigo de Heather Pringle nas referências). Embora a teoria ainda precisa de uma melhor comprovação, ela não consegue explicar mas que alguns casos.

Em síntese, **não houve um abandono repentino**, foi um processo que levou centenas de anos em cada cidade. Também o fenômeno **não foi localizado numa cidade durante um único lapso**: cidades abandonadas são encontradas por todas as regiões maias e ao longo de todos os periodos de sua história clássica. Por último as causas desses abandonos, **não devem ter sido sempre as mesmas** e provavelmente se devam entre outros a: superpopulação, câmbios climáticos, guerras.

Eu me pergunto se também não influenciaram elementos de sua cultura baseada nos ciclos. Claro que nesse caso esperariamos certa recorrência relacionada com algum dos ciclos do calendário maia, o que não foi nunca encontrado.

2.3 A desaparição dos maias

Havia uma vez um povo, na região central da América Central orgulhoso de suas tradições e cultura, que realizou suntuosas edificações, que soube de astronomia, ourivesaria, agricultura, escrita, e outras técnicas e ciências. Um povo marcial que gostava das batalhas, reais no campo e simbólicas nos estádios. Esse povo, que chamamos *maia*, hoje mal pode ser reconhecido nos rostos e atos de seus descendentes que habitam a mesma região geográfica. Os *maias*, aqueles filhos diretos de Yax Ehb'Xook, de Tikal, de Te' K'ab Chaak de Caracol, de Yuknoom Ch'een I de Calakmul e de tantos outros que fundaram centenárias dinastias, desapareceram quando o conquistador espanhol plantou suas botas nas florestas centroamericanas castigando com fúria divina os herexes. Desapareceram seus chamanes, seus escrivas, seus reis. Quemaram seus livros, detruiram suas artesanias. Foram obrigados a aceitar outras crenças e tradições e embora conseguiram guardar, *clandestinamente*, as sujas próprias, é mais o que se perdeu do que se resgatou do *Apocalipse* conquistador, de sua brutalidade e de suas doenças. **Esta é a auténtica desaparição do povo maia**, me atrevo a dizer que foi também a única.

E no entanto há uma *fábula* que diz que os maias teriam desaparecido antes da chegada dos espanhois, abandonando as cidades apresuradamente. Por qué é tão persistente este mito? Simplesmente porque os arqueólogos encontraram innúmeras cidades abandonadas muito antes de Colón chegar na América. Cidades abandonadas não significa que o povo se extinguiu. O maias abandonabam uma cidade e fundavam outra. Por incrível que seja, assim foi.

No meio de exuberantes florestas, colosos de pedra de 30 m de altura mos-

tram a antiga glória de uma cidade vazia. Como alguém, um povo inteiro, pode abandonar tanto esforço? Tikal, Copán, Chichen Itza, Palenque, Uxmal, as mais fastuosas de todas as cidades maias foram abandonadas antes de começar um novo milénio cristão e quando na Europa suas nações estavam muito lonje de planejar longas viagens marítimas. As rações para isto acontecer são várias. Tikal e Calakmul, por exemplo, agotaram-se mutuamente em extenuantes guerras pelo controle da região. Provavelmente seja um caso particular destas cidades, causas mais gerais estariam associadas à superpopulação. Calcula-se que, no apogéu do periodo clássico, a população maia era em torno de 10 milhões de habitantes. Para pôr esse número em perspectiva, vamos comparar com um país de igual tamanho: Paraguai, com pouco mais de 400.000 km^2 tem menos de 7 milhões de habitantes hoje em dia, mas conta a seu favor com uma melhor capacidade de produção de alimentos e bens em geral, e de uma maior rede de distribuição. Paraguai beneficia-se ainda com o comércio mundial, que lhe permite comprar a países remotos alimentos que não manufatura. Durante o apogéu maia, o comércio não chegava além do planalto central de México. Por descrição de viajantes espanhois sabemos que a agricultura maia estava baseada nas queimadas, o que obrigava a um período de descanso de dois a tres anos antes de voltar a semear, diminuindo a área das plantações. Podemos imaginar os sérios problemas que deven ter atravesado com os méios que contavam na sua época para encontrar alimento para tanta gente.

Quando a população chegou nesse número, o equilíbrio tornou-se instável e qualquer fator negativo amplificava os problemas. Muitos autores afirmam que uma sobreexploração do solo pela agricultura acelereu a falta de alimentos. Outro fator muitas vezes citado é uma estiagem prolongada da qual temos algumas evidências. A falta de alimentos teria gerado revoltas populares e desobedeciência aos seus reis, que eram culpados dos males. Que a monarquia caiu no descrédito é demonstrado pela perda do adjetivo *divina* (K'uhul): os reis serão, a partir de então, chamados apenas de *senhores*, como antigamente, compartirão as decisões com um conselho e, mais importante, perderão o hábito de criar construções monumentais. Construções que eram realizadas pelo povo como parte de suas obrigações para com o *senhor*. Para se ter uma ideia do peso que tinham as *obras públicas* na economia maia, apenas para construir os templos de Copán durante o reinado de K'inich Yax K'uk Mo' (426 - 437 DC) foram necessários uns 175.000 dias-homem, ou, de acordo com as estimaciones de população, um mês de trabalho anual de cada adulto.

É toda essa estrutura a que desabou. Os habitantes abandonavam a região em busca de lugares onde poder viver. Os reis, por sua parte, saiam em busca de lugares onde fundar novas cidades. Está bastante bem documentada a emigração. O povo Itza, por exemplo, veio do sul para ocupar a região central das terras baixas em Yucatán. E, como conta o *Popol Vuh*, o lago Petén foi colonizado por *príncipes* de uma cidade mitológica maya chamada *Tollan*. Na prática trataria-se de reis vindos de uma empobrecida península de Yucatán.

Esse insesante movimento. O desapego ao material, parece ser uma constante maia ou, melhor ainda, mesoamericana. Cidades da era preclássica, como El Mirador, foram completamente abandonadas entre 100 y 300 DC. Depois aconteceria o mesmo com as cidades do clássico. Não sabemos o que poderia

ter acontecido com os asentamentos do posclássico, já que a história ficou interrompida quando a chegada dos invasores europeus. E o mesmo é observado em outros lugares da Mesoamérica: Teotihuacán também foi abandonada; não sabemos como teriam atuado os aztecas se não tivesse chegado Hernán Cortés.

2.4 Epílogo

Os maias foram a maior civilização que ergueu-se na América pré-colombiana. Seus conhecimentos, sua organização, sua arqitetura, sua religião e tradições, sua arte, foram os mais elevados do continente e estão entre os mais altos que qualquier nação já conseguiu. Seu estúdo é fascinante, e ainda temos um grande número de incógnitas por resolver. A desaparição de seus documentos escritos (os *códices*) criu deformações que levará tempo para corrigir. No século XIX afirmava-se que os maias eram descendentes dos egípcios, e até dos hebréus. Afirmou-se por décadas que eram um povo *pacífico*, quando a guerra era uma parte central de suas atividades. Supus-se que estavam em harmonia com o meio ambiente, e existem provas nítidas do desmatamento. Para alguns autores (exageradamente, segundo meu ponto de vista) esse desmatamento criu um câmbio climático que os prejudicou. Por último, exóticas teorias dizem que a origem e destino desta *civilização perdida* está nas estrelas.

Se algo tem de bom a preocupação mundial pelo ano 2012 e a suposta *mensagem* maia, é que acordou em muitos o interesse por um povo que merece todo nosso respeito e admiração; mas que precisa ser compreendido como era e como é, sem necessidade de adjudicá-lhes poderes ou saberes que nunca tiveram.

2.5 Referências Bibliográficas

Sharer, R.J., Traxler, L. P., The ancient maya, Stanfor University Press, (2006)

Pringle, H., A new look at the Mayas' end, *Science*, 24 April 2009, **324**, pp 456+

Capítulo 3

O Calendário Maia

A questão dos calendários é essencial nas profécias de 2012: o *Fim de um Ciclo* é esperado com uma enorme ansiedade. Então, para compreender a razão destas profecias devemos compreender o calendário Maia, e, em geral, todos os calendários. Começamos assim com uma introdução aos diferentes sistemas cronológicos para terminar com o calendário mesoamericano pre-colombiano.

3.1 Calendários: por que, para que, como?

Diz o **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa** (3ra edição, 2004) que um **Calendário** é um *Sistema de divisão do tempo em que se aplica um conjunto de regras baseadas na astronomia e em convenções próprias, capazes de fixar a duração do ano civil e suas diferentes datas* . Percibo, no entanto, que esta definição está influenciada pelo Calendário Gregoriano que rege atualmente em quase todo mundo. Considerado da forma mais geral posível, creio que um calendário é um *sistema para medir a passagem do tempo* . Como todo sistema de medida deve contar com uma unidade, com múltiplos e submúltiplos desta. Os calendários existem desde o alvorecer da humanidade e desconhecemos quase completamente a origem deles. Os milhares de anos que se passaram desde sua idealização os foram alterando e hoje tudo resulta natural, embora o conjunto de regras possa ser extremamente arbitrário. Parte da fascinação que têm os calendários está nestas arbitrariedades justamente. Por quê há meses de 30, de 31 e até 28 dias? Por quê a semana tem 7 dias? Qual é a origem do nome dos meses? Algumas perguntas não necessáriamente têm resposta lógica ou conhecida. Parte do *charme* de um calendário vem também de sua dimensão simbólica: *Domingo é o Dia do Senhor* , *Shabbatt é o dia do descanso* , etc, etc.

Mas nem tudo é ou pode ser arbitrário num calendário. Se tentamos traçar uma linha lógica, considerando as ferramentas disponíveis quando apareceram os primeiros, poderiamos dizer que a unidade de medida deve ser o dia, ou seja, o intervalo de tempo entre duas aparições do Sol pelo Oriente (amanhecer). O calendário mais simples seria aquele que só contabiliza a passagem dos dias, na forma de uma conta interminável à maneira de um náufrago numa ilha abandonada.

O fato de que seja o *dia* a nossa unidade de medida, revela que estamos interessados em fenômenos astronómicos. Além do Sol, por sobre nossas cabeças passam innúmeros astros, desde a Lua, até pequenas estrelas e pálidas regiões *nebulosas*. A curiosidade, a necessidade ou ambas podem nos levar a questionar se existe alguma relação entre o *dia* e o lapso que demora a Lua em passar de sua forma redonda até desaparecer completamente. Também o Sol parece possuir um ciclo que repete e está relacionado com o clima, com a duração relativa do período noturno e diurno e outros fenômenos mais. Então é natural buscar os *múltiplos* da unidade *dia*, que em nosso calendário se chamam: *semana*, *mes* e *ano*. Esta escolha, embora útil, não é necessária. Muitas outras poderiam ter sido consideradas.

E quais os submúltiplos de nosso calendário? Mesmo a risco de ser qualificado de incorreto, na minha concepção de calendário a divisão do dia em intervalos menores, faz parte dele. Em nossa sociedade moderna, trata-se das

horas, *minutos* e *segundos*[1]. No entanto, no passado remoto podia ser algo tão vago como *manhâ* , *tarde* e *noite*. Segundo Umberto Eco (no *Nome da Rosa* e citando a E. Schneider em *Les heures bénédictines*) na Idade Média o dia era dividido em *Maitines*, *Laudes*, *Prima*, *Tércia*, *Sexta*, *Nona*, *Vésperas* e *Completas*.

Voltemos por enquanto para os múltiplos do dia. O sistema métrico foi ideado para facilitar os cálculos das medidas de distância, peso, etc. Por esse motivo, depois de se escolher o padrão de unidade, os múltiplos e submúltiplos são derivados a partir deste, multiplicando ou dividindo por 10. Nada impede então criar uma semana de 10 dias, um mês de 100 e um ano de 1000. No entanto por motivos que apenas podemos suspeitar, desde a origem se buscou harmonizar (ou achar a harmonia) entre periodos de diferentes astros.

O dia, não é um ciclo? O Sol sai do Leste, anda para o Norte (no hemisfério Sul) e se esconde pelo Oeste numa repetição sem fim. Mas o Sol não sai *exatamente* pelo mesmo ponto todo dia. Lentamente, a cada manhã, seu local de aparição irá se deslocando para o Sul, até que um dia, que relacionaremos com a temporada de clima cálido e noites breves (no hemisfério Sul) deterá esta marcha e a revertirá. O período diurno, a partir deste momento, torna-se cada vez mais curto, volta o frio e o Sol sai de um ponto que se aproxima cada vez mais do Norte. Também iremos perceber que o Sol não fica tão elevado no céu. Um dia, finalmente, essa jornada para o Norte parará, no mesmo dia em que a noite será mais longa. No dia seguinte o Sol começará a andar em sentido inverso. Se contarmos os dias transcorridos entre duas aproximações máximas do Orto solar do Sul (hoje chamados de soltícios), obtemos 365 dias, intervalo que chamamos de *ano*. Eis ai o primeiro problema, 365 é divisível apenas por 5 e por 73, números primos. O segundo problema é que medidas mais precisas (e para isto precisamos de muitos anos de observação ou de instrumetnos especiais) mostram que o número 365 não é completamente correto e que devemos adicionar uma fração. Hoje em dia o valor médio do ano trópico é **365,2422** dias.

Da mesma forma podemos contar o intervalo de tempo que demora a Lua em apresentar as diferentes *faces* (as fases lunares) e novamente descobrimos que é *quase* 30 dias, mais precisamente, **29,53059** . Sendo o Sol e a Lua os astros mais brilhantes, podemos intentar harmonizar num único calendário ambos os ciclos. Podemos, por exemplo, considerar que o ano tem 365 dias e o ciclo lunar 30, obtemos então 12 *meses lunares* de 30 dias. Infelizmente 365 não é divisível por 30 e por isso devemos achar algumas solução *ad hoc* , como adicionar 5 dias no fim do ano; ou distribui-los ao longo do ano, solução de nosso Calendário Gregoriano. (Cinco meses de 31 dias, os outros dois correspondem aos dias *roubados* de fevereiro, compensado em parte com o dia *bissesto* .)

O Calendário Gregoriano deriva de uma tradição que deu maior atenção aos movimentos solares de forma que a passagem do Sol por certas áreas do Céu acontecesse aproximadamente nos mesmos periodos calendáricos. Como divisão intermedíaria entre ano e dia, adotou as fases da Lua de uma forma muito ir-

[1] O nome de segundo vem de *segundos minutos* ou seja a subdivisão dos *primeiros minutos*. Minuto significa pequeno.

regular ao ponto que nosso *mês* de 30,41 dias em média, está completamente defasado com os movimentos lunares. A *semana* parece uma vaga lembrança de que cada *fase* lunar dura uns 7 dias, embora outras razões podem estar por tras desta eleição.

Por quê o Sol é tão importante no Calendário Gregoriano? A resposta que parece mais lógica é que com esse calendário buscava-se um domínio da agricultura e a pecuária, ou do clima que depende das estações do ano definidas pela posição do Sol no Céu. Dentro desta tradição agrícola a precisão necessária de um calendário muito bem poderia ser de uma semana, portanto se definimos um calendário com precisão de um dia, estaremos mais do que satisfeitos. Um calendário de 365 já tem precisão de 1 dia, mas seu problema é que a diferença só se acumula. Ao fim de 4 anos, teremos perdido um dia, e ao fim de 400, acumulamos uma diferença de 100 dias. As estações acontecerão em meses que anteriormente correspondiam a outras, e em pouco tempo temos uma confusão. Janeiro será o mês da primavera e março o do verão (Hemisfério Sul). O Calendário Juliano (encomendado pelo emperador Julio César) melhorava esta situação por ter uma duração média de **365,25** dias, acumulando um erro de 1 dia a cada 100 anos. Seriam necessários então 10.000 anos para uma defassagem completa das estações. No entanto em 1582 o Papa Gregório XIII estabeleceu o novo calendário, com uma duração média de **365,2425** dias, que acumula uma diferença de 1 dia em 3333 anos. Há 400 anos que este é o nosso calendário. Devemos destacar que a motivação de Gregório XIII era meramente religiosa.

Podemos fazer um calendário mais preciso? A resposta é que **já temos** esse calendário mais preciso. Novamente, interpreto o calendário como o instrumento que me da a possibilidade de contabilizar o tempo e prever fatos astronômicos. Nosso *calendário* atual tem a precisão de **milionéssimos de segundo** e é capaz de calcular a posição de todos os planetas do Sistema Solar com antecipação de décadas, incluindo os *temidos* eclipses. De certa forma, ele faz parte de nosso dia a dia, embora não o percibamos. Teléfonos celulares utilizam o tempo determinado por satélites e rádio-telescópios. Muitas vezes no fim do ano, somos informados que a hora foi incrementada de *um segundo*. Também não nos preocupamos mais por achar ciclos múltiplos de outros ciclos, porque possuimos uma matemática que com imensa precisão e pouco esforço é capaz de chegar aos resultados bucados.

Enquanto isso, o Calendário Gregoriano de cada dia, se convirtiu mais num hábito relacionado com os nossos afazeres e obrigrações. Como redefinir a *semana de trabalho* ? Aceitariamos receber os *vencimentos* num período diferente de 30 dias? E as férias anuais? A arbitrariedade do dia de 24 horas, a hora de 60 minutos e o minuto de 60 segundos, não espanta ninguém. Como seria trabalhar 6 horas diárias num dia de 20 horas de duração? Na verdade já estamos habituados e o calendário gregoriano tem a exatidão que nossas atividades diárias precisam. Se não o cambiamos, é simplesmente, porque não é necessário.

Não poderiamos esquecer por último, o lado simbólico, religioso do calendário. Somente em Ocidente convivem três completamente diferentes: o cristão, o judeu e o musulmano. Por questões práticas no mundo todo a referência é o Calendário Gregoriano, cada grupo étnico, cada cultura ou civilização, tem um

que considera mais adequado a suas crenças.

3.2 Ciclos, ciclos, ciclos

De todos os calendários da antigüidade, o Calendário Maia é o mais complexo. Por esse motivo e porque seus criadores sumiram antes da chegada de Colombo e seus homens à América, temos um conhecimento incompleto dele, os debates continuam e as interpretações livres abundam. Em primeiro lugar não deveria se falar de **um** calendário, mas de vários, cada um com uma dinâmica diferente, e provavelmente com uma função diferente. No entanto, estes calendários estavam integrados. Vamos ver cada um deles por separado.

3.2.1 El Tzol'kin

O calendário básico maia consiste na sucessão sem fim de um ciclo de apenas 260 dias chamado **Tzol'kin** , os *mexicas* , (astecas em português), o chamaram **Tonalpohualli** , sendo a primeira inscrição conhecida do ano 600 AC, nas ruinas de San José Mogote (perto da cidade de Oaxaca, sul de México). O esquema deste calendário breve é muito curioso. Cada dia recebe um número de 1 a 13 e um nome tomado da lista seguinte: Imix, Ik, Ak'bal, Kan, Chikchán, Kimi, Manik', Lamat, Muluc, Ok, Chuen, Eb, Ben, Ix, Men, Kib, Kabán, Etz'nab, Kauac, Ahau. A sucessão dos nomes dos dias é a seguir:

1 Imix	2 Ik'	3 Ak'bal	4 K'an	5 Chikchán
6 Kimi	7 Manik'	8 Lamat	9 Muluc	10 Ok
11 Chuen	12 Eb	13 Ben	1 Ix	2 Men
3 Kib	4 Kabán	5 Etz'nab	6 Kauac	7 Ahau
8 Imix	9 Ik	...	...	...
...	...	...	...	...
9 Kib	10 Kaban	11 Etz'nab	12 Kauak	13 Ahau

A sequencia continua até esgotar todas as combinações posíveis dos 13 números e 20 nomes. Como 13 e 20 são números *coprimos* (sem divisores comuns), a série se repete então ao fim de

$$20 \times 13 = 260 \text{ dias}$$

sendo **13 Ahau** o último dia e recomençando com **1 Imix**.

Há décadas debatem os arqueólogos a origem deste ciclo. Um dos motivos sugeridos o relaciona com o planeta Vênus. A órbita deste planeta fica dividida em dois periodos de 263 dias, com outros 58 dias em que é *invisível* desde a Terra. O diagrama da figura 3.1 ajuda a compreender.

Seria, no entanto, uma falta de respeito aos maias que foram finos astrônomos pensar que poderiam errar em três dias. Outra ideia sugere que na latitude de Copán ($14°57'$ N) a trajetória do Sol pode ser dividida em dois períodos, um deles, enquanto está ao Norte do Zénite, dura 260 dias e o seguinte, enquanto o Sol permanece ao Sur do Zénite, de 105. Estes dois períodos têm relação

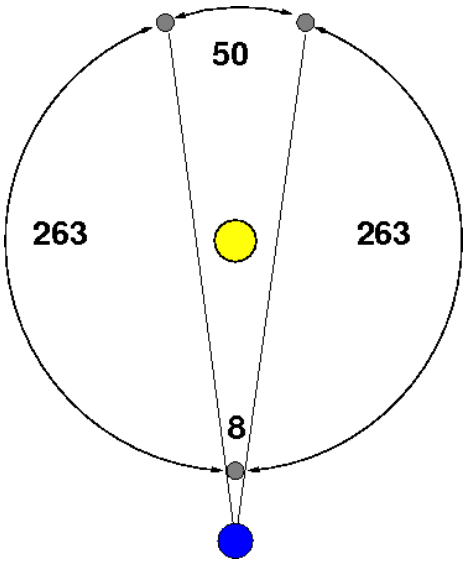


Figura 3.1: Esquema que representa a órbita do planeta Vênus (pequeno círculo cinza) em relação à Terra (círculo azul), aqui em repouso por simplicidade. Os números indicam os dias que demora Vênus em percorrer cada trecho. Quando Vênus está muito próximo do Sol (círculo amarelo) não é visível.

com as temporadas *longa* e *curta* que aínda são utilizadas pelos agricultores da região. No entanto, o Tzol'kin foi estabelecido antes da fundação de Copán. Por último, uma ideia muito difundida é que 260 dias correspondem aproximadamente ao tempo de gestação do ser humano. Em apoio desta teoria, sabemos que os maias escolhiam o nome de seus filhos usando o Tzol'kin. Existem muitas outras especulações a respeito do calendário, mas acho importante remarcar que no Tzol'kin aparecem dois números chave dos calendários maias: **20** e **13** . O Tzol'kin continua vigente em alguns lugares da Guatemala. Sabemos que ele tem uma carga simbólica muito forte, porque indica os momentos propícios para algumas atividades, como por exemplo, pedir a mão da mulher.

3.2.2 O Haab

O segundo calendário maia tem uma duração de 365 dias, muito próximo do ano trópico solar (365,2422). Está formado por 18 meses de 20 dias cada (360 dias) e uma semana final de 5 dias chamados *uayeb* para completar os 365. O nome dos meses está na seguinte tabela (de esquerda para direita, de cima para abaixo)

Pop	Uo	Sip	Sot	Sek
Xul	Yax'kin	Mol	Ch'en	Yax
Sak	Keh	Mak	Kan'kin	Muuan
Pax	K'ayab	Kumk'u		

Este calendário parece com o nosso porque cada dia recebe o nome de um número de 0 a 19 e depois o mês: 0 Pop, 1 Pop, 2 Pop,.... 19 Pop, 1 Uo, 2 Uo, 3 Uo.... Apesar que a duração do Haab corresponde aproximadamente ao

ano solar, não temos evidência que os maias tentaram mante-lo sincronizado. Lembramos que como o ano solar não é um múltiplo exato de dias, a diferença se acumula constantemente. Em nossos calendários usamos os anos bissestos para corregir. **Não existe evidência alguma que os maias fizeram algo parecido**. Desta forma o Haab acaba sendo algo assim como para nos o mês, cuja duração de 30 dias se relaciona con as fases lunares, embora não mantem coherência nenhuma com elas. (O calendário musulmano, por exemplo, é lunar, os meses começam em lua nova.)

3.2.3 O Ciclo de Calendário

Os maias combinaram o Tzol'kin e o Haab para criar um novo calendário de maior duração. Tomando a data de um dia de cada calendário, como por exemplo: **13 Ahau 18 Kumk'u** precisam-se 4 símbolos para representar um dia. Como o mínimo múltiplo comúm entre 260 (duração do Tzol'kin) e 365 (duração do Haab) é 18.980, este é o número de dias em que os nomes do Ciclo de Calendário são diferentes e depois começam a se repetir. Este número corresponde exatamente a 52 *anos* do Haab, ou 51 anos e 353 dias solares aproximadamente. Os maias e principalmente os astecas, davam importância transcendental a este período. Acreditavam que cada vez que chegava a seu fim, deviam renovar o *contrato* com os Deuses para que lhes permitissem continuar a existir. Grandes temores brotavam nessa época e depois, com a chegada do *Ano Novo* imensas celebrações e felicidade.

3.2.4 A Contagem Longa

Este é um calendário único en seu tipo embora em principio só significa a enumeração, um atrás do outro, do número de dia, a partir de um dia **zero**. Expressado de forma simples e em nosso sistema decimal, se definimos o 1 de janeiro do ano 1 (1/1/1) como o dia zero, os dias seguintes serão **1, 2, 3, 4, 5,..... 734.053** . (Este último representa o 8 de outubro de 2010, dia em que escrevo estas notas.) Os índios mesoamericanos desenvolveram um sistema de numeração robusto que lhes permitia escrever números muito grandes. Este sistema tinha base vigesimal (20) a diferença do nosso que é decimal (10). Incluia também o número 0. Existem dúvidas, porém, se o sistema era utilizado também no comércio. Embora temos suficientes provas de que foi utilizado no calendário, com una pequena modificação comentada a seguir.

A unidade do sistema era, como em todo calendário, o dia, que os maias chamaram **kin**, numerando de 0 a 19. Vinte kins formam um **uinal**. Se queremos expressar o dia 45,

$$45 = 2 \times 20 + 5 = 2 \text{ uinal } 5 \text{ kin} = 2.5$$

A última forma é como abreviamos agora a numeração maia, o ponto deve ser interpretado como um delimitador. Eles utilizavam dois tipos de símbolos: pontos, que representam unidades, e linhas, que representam 5 unidades. O zero tinha um símbolo próprio parecido com uma concha (ver Figura 3.2).

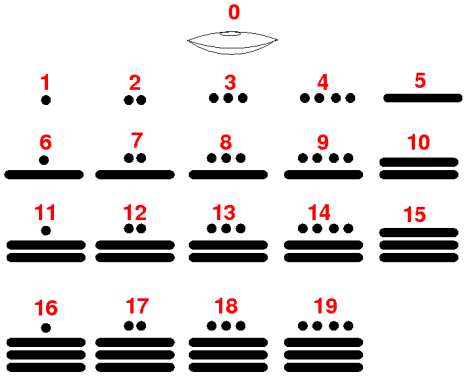


Figura 3.2: Números maias de 0 a 19. Também tiveram diferentes símbolos, parecidos a rostos humanos ou animais, para representar estes números.

Os uinais eran agrupados em conjuntos de 18, quebrando o esquema vigesimal e este conjunto era chamado **tun** . Por quê 18 e não 20? Porque

$$1 \text{ tun } = 18 \text{ uinais } = 18 \times 20 \text{ kins } = 360 \text{ kins } = 360 \text{ dias}$$

um número muito próximo do ano trópico solar e do Haab. A sucessão segue agrupando 20 tunes para obter um **katún** . Por último, o conjunto de 20 katunes forma um **baktún** . A tabela abaixo permite ver a sucessão anterior

1	dia	1	kin		
1	uinal	20	kins		
1	tun	18	uinais	360	kins
1	katún	20	tuns	7.200	kins
1	baktún	20	katuns	144.000	kins

O mais parecido com a Contagem Longa em nossa cultura é um sistema calendárico usado pelos astrónomos e chamado Data Juliana, inventado por Joseph Scaliger em 1582, representa o número de dias desde o 1 de janeiro de 4713 AC, incorporando decimais para levar em conta a fração do dia (que por outra parte começa ao meiodia). Por exemplo no momento de escrever estas linhas **9 de outubro de 2010, 4:54 PM = 2.455.479,2041666512**. Assim como nosso sistema tem nomes para as potências de 10 como mil, milhão, bilhão, trilhão, etc, o sistema maia poderia continuar indefinidamente a condição de seguir inventando nomes para as potências superiores de 20. De fato alguns autores afirmam que os maias tinham o **piktun** (20 baktuns), o **kalabtun** (20 piktuns) e o **kinchiltun** (20 kalabtuns). No entanto, no que se refer à Contagem Longa, eles decidiram parar em **13 baktuns** ou seja, **1.872.000** dias, que representam **5.125 anos e 133 dias** . E, novamente, como no Tzol'kin, encontramos o número treze. Ao fim desse periodo o Universo seria destruido e um novo voltaria a começar. *Segundo alguns profetas, isto acontecerá em 2012* .

3.2.5 A Mãe de todos os Calendários

Finalmente, a descrição de um dia determinado no calendário Maia era dada simultaneamente pela data da Contagem Longa, do Tzol'kin e a do Haab. Por exemplo, o dia de hoje é: **12.19.17.13.14 4 Ix 7 Yax**. Quer dizer que para escrever uma data precissavam de 9 símbolos diferentes. Durante o *Período Clássico Tardio* (600 - 800 DC) os maias adotaram formas abreviadas de datação. Na chegada dos espanhois à península de Yucatán (periodo *post-clássico*), somente se registrava a *contagem dos katuns* (chamada de *contagem curta*), o que permitia escrever com precisão datas dentro de um lapso de 256 anos. Para poder correlacionar a Contagem Longa com o Calendário Gregoriano devemos encontrar pelo menos uma data expressada em ambos sistemas. Mas, pelo exposto antes isto não aconteceu, obrigando a utilizar datas da Contagem Curta, que não tem a mesma precisão. O método de datação de rádiocarbono permite também obter algumas correlações mais, ao datar antigos monumentos com inscrições da Contagem Longa, mas com uma precisão menor. Outros autores tentaram usar eventos astronômicos registrados em pedras, como eclipses ou posições particulares dos planetas. O trabalho é difícil e obriga a combinar uma grande variedade de resultados diferentes para minimizar os erros. **Na prática não se encontra uma única correlação totalmente coerente, dando sempre margen a diferenças entre distintas datas** . Atualmente a correlação de *Goodman, Martínez e Thompson* , abreviada como **GMT** , é a mais aceita. Os maianistas costumam utilizar uma constante para correlacionar os calendários, esta constante é a diferença em dias entre a origem do Dia Juliano (que descrevemos acima) e o da Contagem Longa. Na siguente tabela resumo as diferentes correlações obtidas do libro de Anthony Aveni (ver na bibliografia) e do site de Andreas Fuls[2], junto com as datas de início (0.0.0.0.0) e fim (13.0.0.0.0) da Contagem Longa que eu mesmo calculei utilizando os programas desenvolvidos por Ivan Van Laningham[3]. Em letras itálicas ressaltamos o valor da constante GMT.

Autor	**Valor**	**0.0.0.0.0**	**13.0.0.0.0**
Smiley	482699	26 Jun 3392 AC	5 Nov 1734
Makemson	489138	11 Fev 3374 AC	22 Jun 1752
Spinden	489384	15 Out 3374 AC	23 Feb 1753
*GMT**	*584285*	*13 Ago 3114 AC*	*23 Dic 2012*
Böhm	622261	4 Ago 3010 AC	14 Dic 2116
Kreichgauer	626927	14 Mai 2997 AC	23 Sep 2129
Wells, Fuls	660208	27 Jun 2906 AC	6 Nov 2220
Hochleitner	674625	22 Dez 2868 AC	3 May 2259
Escalona Ramos	679108	27 Mar 2874 AC	5 Ago 2272
Weitzel	774078	3 Abr 2594 AC	12 Ago 2532

* Outro valor frequentemente citado de GMT é 584283. Com este valor 13.0.0.0.0 cai no dia 21 Dezembro de 2012.

Pode ver-se que a dispersão entre posíveis datas para o fim da Contagem Longa é de quase **797** anos. Embora a correlação de GMT é a mais aceita (e já tem mais de 80 anos de antiguedade) nem mesmo ela carece de controvérsias.

[2] `http://www.archaeoastronomie.de/`
[3] `http://www.pauahtun.org/Calendar/Default.htm`

Em primeiro lugar os três autores determinaram independentemente diferentes valores: Thompson obteve 584285, Goodman 584280 e Martínez 584281, valores que foram unificados em **584283** . Com esta correlação, que não é a mais aceita pelos maianistas, 13.0.0.0.0 será no dia 21 de dezembro de 2012.

A contorvérsia é grande. E talvez seja até uma simplificação supor que existe uma *única* Contagem Longa. Devemos compreender que os maias não chegaram a formar um pais no sentido moderno. É mais correto dizer que se tratava de Cidades Estado (no estilo grego clássico) que floresceram em diferentes épocas, algumas destas cidades ganhando predomínio sobre as outras e até dominando-as (fato que explorou ao seu favor H. Cortez) e que herdavam un acervo de valores, tradições e conhecimentos, mas que os modificavam de acordo com regras locais. Vista assim a história maia, pode-se supor que existiram diferentes orígens calendáricas. De fato há casos conhecidos de câmbios ao longo da história, por exemplo, a escrita, que, como toda escrita, evoluiu. Sem dúvida, supor que o conjunto de símbolos foi sempre o mesmo nas distintas etapas da história maia atrasou a sua comprensão que, por outra parte, ainda é incompleta: a maior parte dos gravados das épocas preclássicas encontram-se sem descifrar.

Colocado de outra forma pode ficar mais claro o problema. Em Ocidente convivem três calendarios muito diferentes como já dito, o que pode criar confusões num futuro arqueólogo. Mesmo considerando apenas o *cristão* , vemos que este sofreu uma mudança importante em outubro de 1582. Normalmente, as datas anteriores à reforma gregoriana, encontram-se especificadas no calendário juliano. Para um historiador do futuro que não conhecesse as diferenças, isto criaria algumas inconsistências. A situação é pior na realidade porque os diferentes países adotaram o calendário gregoriano em diferentes épocas. O Reino Unido em 1752. Os estados que fizeram parte da União Soviética, depois da Revolução Bolchevique. Grécia, após a queda da monarquia em pleno século XX. China também entrou ao time há pouco tempo. Sem dúvidas, a co-existência de diferentes formas de registrar o tempo trará muitas dores de cabeça a nosso historiador do futuro.

E por falar em calendarios passados, é importante dizer que as datas de início do calendário maia na tabela acima estão escritas no Calendário Proléptico Gregoriano, que é uma extensão para o pasado do Calendário Gregoriano, antes de sua entrada em vigência no 14 de outubro de 1582. Alguns historiadores, por coherência, o usam, mas deve se entender que é apenas uma criação puramente acadêmica.

3.2.6 A Precisão do Calendário Maia

Um tema recorrente é a precisão do calendário maia. Pelo explicado antes, não existe evidência alguma que os maias tenham tentado manter coordenado algúm do seus calendários com o Sol (também não com a Lua porque seus *meses* eram de 20 dias). Não é necessário, porém, ser um astrônomo experto para perceber que um calendário de 365 dias lentamente vai se defasando do calendário *natural*. Com um erro de 1 dia a cada 4 anos, em 500 anos, uma data do calendário

Haab mudaria de estação. Os mayas devem te-lo notado, mas não parece te-los preocupado.

Por outro lado muitos arqueólogos afirmam que existem evidências de que os maias mediram o período sinódico da Lua (*mês lunar*) com uma grande precisão. É lógico pensar que poderiam obter a mesma precisão com o Sol. mas, a verdade é que aqui entramos no âmbito das conjecturas e especulações. John E. Teeple (1874 - 1931), um engenheiro químico que se dedicou com paixão ao estudo das culturas mesoamericanas e em particular deu um grande impulso ao desciframento dos hieróglifos que permitiu compreender o calendário, utiliza (sem demostração segundo H. Thurston) a relação 149 lunações $\equiv$ 4.440 dias obtida em Copán; resultando num mês lunar médio de 29,5302 dias. Thurston, por sua vez, obtem uma relação um pouco diferente em inscrições de Palenque 81 meses $\equiv$ 2.392 dias, ou uma média de 29,5309 dias. Segundo a astronomia moderna, o mês lunar tem uma duração média de 29,530588 dias. Então, qualquer um dos dois resultados parece excelente.

Da mesma forma, os arqueastrônomos se lançaram na busca da pedra de Rosetta do ano solar trópico segundo os maias. Teeple afirma ter encontrado esta relação numa inscrição de Palenque, e, segundo seus cálculos, um ano trópico eqivale a 365,2420 dias, muito próximo do valor astronômico atual de 365,2422 e melhor que o do calendário Gregoriano de 365,2425. A afirmação de Teeple, realizada nas primeiras décadas do século XX, desatou um frenesi por novas buscas. A febre parece ter pasado sem que tenhamos chegado a um consenso.

Resulta em qualquer caso um pouco confuso um gráu tal de precisão quando apenas se conhecem os números inteiros, sem frações. Que sentido tem para os maias 0,002 dias por ano de erro? Uma diferença que se manifesta **num día a cada 5.000 anos**. E acontece que em 5.000 anos a órbita da Terra não será a mesma: a Terra está freando por culpa de sua interação com a Lua. Nesse mesmo período terá perdido em torno de um dia segundo Gordon Moyer e Charles Kluepffel (ver referências abaixo). Por esse motivo muitos astrônomos desistiram de alterar o calendário Gregoriano cuja imprecisão aparece aos 3.333 anos. Uma correção deverá ser feita em algúm momento do futuro, igual a que é feita, as vezes, no final do ano para adicionar um segundo (o *leap second*).

Agora bem, se os maias podiam só perceber a acumulação de uma diferença de um dia (lembrem, não tinham frações, tampouco sabemos que tenham dividido o dia em horas), uma precisão de 1 dia em 5.000 anos, acredito que é produto, apenas, do acaso. Hoje me parece claro que muitas das conclusões sobre o conhecimento astronômico maia estão influenciadas por nossos próprios conhecimentos. Se esta espécie de poluição intelectual pode ser aplicada à arqueologia em geral, é mais comúm na arqueoastronomia, dsiciplina que floresceu nos anos 50 a 90 do século passado mas que perdeu aos poucos o impulso, talvez porque suas especulações não receberam apoio de novas descobertas.

A modo de conclusão. Por intermédio de um amigo mexicano, soube que algumas comunidades maias modernas celebram um ano bissesto adicionando um sexto Uayeb a cada quatro anos. Embora a notícia é interessante, deve ser tomada com calma. Apesar de isolados, os maias levam já 500 anos de algúm

convívio com a cultura europeia. Até onde pude pesquisar na biblografia sobre os maias, não há registros escritos deste sexto Uayeb antes da chegada dos espanhois a México.

3.3 Referências Bibliográficas

A continuação uma lista de livros e artículos que foram consultados para escrever este capítulo.

Aveni, A. F.,*Observadores del cielo en el México antiguo* , Fondo de Cultura Económica (México), ISBN: 0-2927-7557-1 (1980)

Fuls, A. ,*Archästronomie* , `http://www.archaeoastronomie.de`, acesso em 9 de outubro de 2010

Kluepffel, Ch. , *How Accurate Is the Gregorian Calendar?* , Sky and Telescope, Nov. 1982, vol 64, N°5.

Moyer, G. , *The Gregorian Calendar* , Scientific American, May 1982, p 144-152

Sharer, R.J., Traxler, L. P. ,*The ancient Maya, 6th Ed.* , Standford University Press (EEUU), ISBN: 0-8047-4817-9, (2006)

Thurston, H. , *Early Astronomy* , Srpinger (New York), ISBN: 0-3879-4107-X, 1994.

van Laningham, I. ,*The Mayan Calendar* , `http://www.pauahtun.org/Calendar/Default.htm`, acesso em 9 de outubro de 2010

Capítulo 4

As *Profecias* de 2012

.

2012 representa uma mudança de estado, um abandono de paradigmas, o fim de um ciclo e o começo de outro. Não se trata de um ciclo qualquer, no entanto. Estamos falando de um ciclo que, pelo menos, deve ter começado há 5.100 anos, embora sua origem poderia estar ainda num passado mais remoto, porque, diz José Argüelles, este é o último de uma série de 5 que dará fim a um período particular de nossa existência dentro da Galáxia Vía Láctea.

Toda mudança pressagia a morte de estruturas preexistentes. Todo câmbio significa uma tensão, uma luta entre o que tem de ser abolido, demolido, desconstruido, e aquilo que poderá continuar a existir. Resulta um pouco difícil escrever sobre as profecias de 2012 porque diferentes autores realizaram diferentes prognósticos e entraram em controvérsia entre eles. Isto fica muito claro, por exemplo, em livros como *The Mystery of 2012* da Editora Sounds True, que traz artigos escritos pelos mais importantes arautos de 2012. A sucessão de profecias que sem parar se lançaram desde que o tema foi instalado na mídia refere-se à forma em que as forças da Natureza realizarão o trabalho de acabar com as velhas estruturas. Em alguns casos trata-se de aspectos espirituais (por exemplo J.M. Jenkins), em outros, de verdadeiros desastres naturais (por exemplo J. Argüelles). No entanto podemos considerar que os elementos mais comuns são as seguintes três catástrofes:

1. Alinhamento Galático
2. Mega Explosão Solar
3. Inversão do Campo Magnético Terrestre

Neste capítulo vamos explicar o que a ciência pode dizer sobre estes fenômenos naturais. O que acreditamos pode vir a ocorrer nos próximos anos e de que maneira podem afetar nossas vidas.

4.1 Alinhamento Galático

Diz José Argüelles:

> Toda galáxia tem um centro. Muitas das galáxias que vemos são galáxias espirais com pontos centrais. O núcleo galáctico é incrivelmente denso e ali criam-se jatos galácticos e informação. O que se gera nas galáxias está muito relacionado com o que acontece nos quasares e outros fenômenos parecidos. Sabemos que existe uma transmissão contínua de ondas rádio que chamamos jatos de informação, que emanam e são irradiados pelo núcleo galáctico. As perguntas são: qual é a natureza destes jatos? Por que estão sendo transmitidos? É a informação destes jatos que está criando vida? É o código do DNA parte desta informação? Cómo afetam realmente estes jatos outros sistemas planetários? (*The Mayan Factor. Path beyond Technology*, em *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

Precisamos dar um contexto ao parágrafo anterior: a astronomia mostrou que as galáxias têm um núcleo cuja densidade excede à do entorno. Em sua

maioria contam com um buraco negro. Mesmo a Via Láctea tem um com uma massa equivalente à de milhões de sóis. Será de este ponto central que fala Argüelles?

No entanto, apenas galáxias de núcleo ativo (AGN) produzem jatos de partículas. Os jatos têm uma direção perpendicular ao plano do disco galáctico. A Via Láctea não é do tipo AGN, e até o presente não lhe foi detectado nenhum jato. E mesmo se tivesse um, de forma alguma poderia atingir o Sistema Solar já que este se encontra sobre o disco galáctico, ou seja, na direção perpendicular a dos jatos.

Diz ainda Argüelles que ondas rádio nos enviam jatos de informação. A afirmação é correta, mas pode confundir a uma pessoa não instruida na astronomia. Por um lado estas ondas rádio não sempre têm relação com os jatos (não são os únicos que emitem ondas rádio). Para a maioria das pessoas a palavra rádio refere ao sistema de comunicação (embora talvez alguém lembre o elemento químico rádio, célebre por ter sido o primeiro a mostrar propriedades radioativas). Desta forma, falar em ondas rádio parece indicar que alguém inteligente está querendo entrar en contato conosco, daí os jatos de informação. Bem, não é deste tipo de ondas que fala a astronomia.

As ondas rádio formam parte de um fenômeno geral chamado ondas eletromagnéticas. São as mesmas ondas que produzem luz, ou radiação infravermelha. As ondas se diferenciam, entre outras coisas, por seu comprimento ou freqüência. Estas magnitudes estão unidas pela relação $\lambda \times \nu = c$, onde λ (letra grega *lambda*) é o comprimento de onda, ν (letra grega *ni*) é a freqüência da onda e c é a velocidade da luz no vácuo. Chamamos ondas rádio àquelas ondas eletromagnéticas cujo comprimento de onda λ é maior que 0,1 mm (aproximadamente). O espectro rádio é muito extenso e compreende desde as micro-ondas, até as ondas de comprimento quilométrico.

O segundo conceito que devemos conhecer é que todo corpo emite ondas eletromagnéticas simplesmente por ter alguma temperatura. De forma aproximada, segue uma lei chamada de Planck em reconhecimento ao físico alemão Max Planck que a descobriu[1]. Quanto mais quente um corpo, o máximo de emissão se encontra na freqüência mais alta. O corpo astronômico mais frio que conhecemos é o Universo, cuja temperatura é em torno dos 3 K. O pico de seu espectro é aproximadamente ν=300 GHz ou seja ν=1 mm.

Esta forma de emissão rádio não é a única que a natureza tem. Também acontece espontaneamente o que chamamos de emissão atômica. Na Terra estamos habituados a ver a fluorescência em substâncias naturais, particulamente o fósforo, muito usado nas lâmpadas fluorescentes. O princípio é o mesmo: dentro dos átomos, os elétrons ocupam sempre as posições de menor energia. Se algum processo físico lhes entrega energia, passam a ocupar uma posição mais alta e o átomo fica excitado. Átomos excitados têm menor estabilidade, e em um intervalo (que pode ser tão breve como milionéssimos de segundo ou tão prolongado como milhões de anos) o elétron retorna a seu estado de equilíbrio, liberando

[1] ler o Apêndice sobre *Radiação de Corpo Negro*

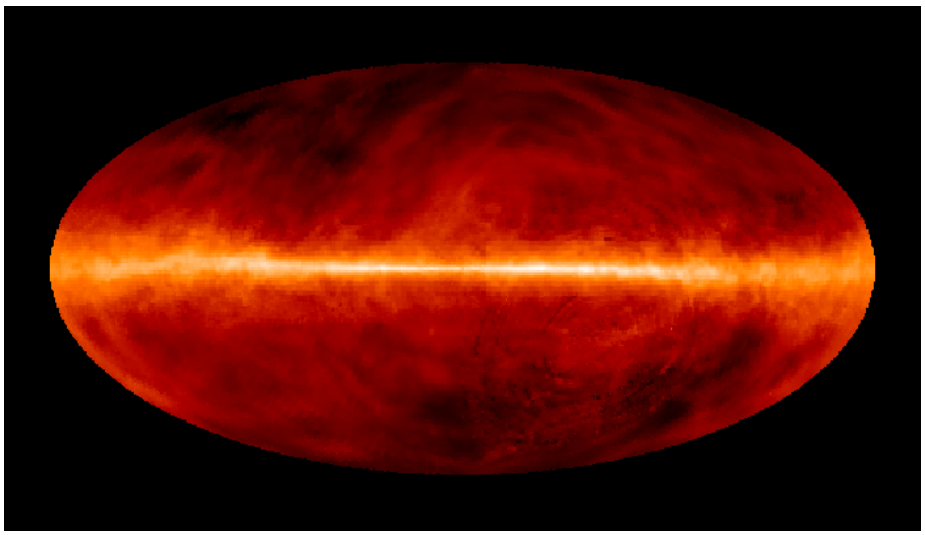


Figura 4.1: Mapa em falsa cor da Via Láctea obtido por meio de um rádio telescópio em 21 cm (Copyright: J. Dickey (UMn, USA) y F. Lockmann,NRAO, USA).

a energia sobrante por meio da emissão de luz. Dado que o Hidrogênio é o elemento mais abundante do Universo, sua emissão por este tipo de transições atômicas é uma das formas mais comuns de emissão natural. No caso de objetos pouco densos e não muito cálidos, a divisão (splitting) hiperfina do nível fundamental produz uma raia com freqüência ν=1420 MHz e comprimento de onda λ=21 cm.

Somando a radiação de corpo negro (Lei de Planck) e a atômica, as emissões rádio de uma galáxia, principalmente de seu núcleo, onde se concentra a maior parte da massa, podem ser muito intensas. Tão intensas que equipos não muito sofisticados podem detectá-las. Exemplo disto é que quando Karl G. Jansky estava estudando as interferências nas comunicações rádio, observou pela primeira vez a emissão do centro galáctico no comprimento de onda λ=14,6 m (ν=20,5 MHz) e a batizou de estática cósmica (estática é o termo usado para chamar o ruido que contamina o sinal comunicado).

Como pode ser apreciado na imagem da Figura 4.1, não há nenhum jato de partículas apontando em nossa direção. A região central brilhante é o disco galáctico, a zona onde está localizado o Sistema Solar. Este mapa foi realizado utilizando um rádio telescópio sintonizado na raia (ou linha) de 21 cm, de forma a eliminar as demais freqüências (ver a seção 5.3) De qualquer forma poderíamos nos perguntar se a radiação que vem do Centro Galáctico (CG), que é sem dúvida a mais intensa de nossa Galáxia, poderia ser perigosa para a nossa saúde. Vamos fazer alguns cálculos. A unidade de medida da densidade de fluxo em rádio astronomia chama-se Jansky, uma homenagem a Karl Jansky, é abreviada como Jy. Sua equivalência com outras unidades é a seguir: 1 Jy = 10^{-26} $\mathrm{Wm^{-2}Hz^{-1}}$. O fluxo do CG em 21 cm deve estar entre 1 e 100

Jy. Para transformá-lo em energia devemos multiplicá-lo por uma largura de banda (em freqüência), que vamos fixar abritrariamente grande, 1 GHz. Como nosso interesse é saber a influência sobre o ser humano, vamos considerar uma superficie coletora de 1 m^2 que corresponde, aproximadamente, à de um adulto. Logo $(1 - 100) \times 10^{-26} \times 10^9 = 10^{-17} - 10^{-15}$ W.

Por outro lado a Federal Communications Commission (EUA) recomenda que a radiação produzida por qualquer equipamento eletrônico seja menor a 1,6 W kg^{-1}. Quer dizer que uma pessoa de 60 kg pode receber quase 100 W de radiação eletromagnética. Ou seja, a Via Láctea poderia muito bem aumentar várias vezes a intensidade de suas emissões que ainda continuariam a ser inofensivas (indetectáveis, de fato) para o ser humano. Poderíamos exagerar o cálculo supondo que o fluxo do CG é uniforme em todo o espectro eletromagnético (o que pode ser refutado com argumentos físicos) cuja largura podemos considerar igual a 10^{20} Hz. Fazendo o cálculo de novo, chegamos a uma potência total máxima que poderia absorver o corpo de um adulto de 10^{-4} W, um milhão de vezes menor que o limite fixado pelas autoridades norte-americanas. Provavelmente o forno de micro-ondas que usamos cada dia para esquentar o café, o telefone celular inseparável hoje de qualquer pessoa, o router wireless das redes informáticas ou as ondas emitidas pelas companhias de televisão satelital estão produzindo radiação eletromagnética milhares de vezes mais intensa à que jamais chegará aquela, de origem natural, de nossa Galáxia.

Conclusão: A emissão rádio do Centro Galáctico não pode fazer dano algum, a não ser que venha acontecer um aumento impensavelmente grande da atividade galáctica. Também não podemos temer um jato de partículas letal, porque a Via Láctea não possui um tal jato, e se o tivesse, estaria apontado numa direção longe do Sistema Solar.

Ainda não falamos sobre o alinhamento do Sistema Solar com o Centro Galáctico. Diz John Major Jenkins

> ... o Sol no solstício de dezembro foi se deslocando lentamente, parecendo convergir com o centro da Via Láctea ao longo de milhares de anos. De fato, o Sol no solstício de dezembro alinha-se com a cruz maia e o Centro Galáctico uma vez cada 26.000 anos – o ciclo completo da precessão. (*The Origins of the 2012 Revelation*, em *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

Este parágrafo tem muitos elementos que merecem ser explicados em detalhe. O primeiro é a precessão, o movimento oscilatório que é característico dos piões. A forte influência que cria a Lua sobre a Terra faz com que o eixo terrestre mude sua inclinação respeito ao plano da órbita, chamado Eclíptica: este fenômeno é chamado Precessão dos Equinócios. A oscilação é muito lenta, dura aproximadamente 26.000 anos. Apesar disto, muitos povos da antiguidade já tinham percebido um dos seus efeitos mais notáveis: a mudança na posição das estrelas relativa à Eclíptica. Essa lenta variação faz com que os signos do Zodíaco sejam empurrados para diferentes épocas do ano, configurando uma das maiores críticas feitas à Astrologia. E é esse mesmo fenômeno que Jenkins atribui para justificar a peculiaridade do ano de 2012, quando acontecerá um

alinhamento único em 26.000 anos.

O segundo elemento a esclarecer é o chamado solstício. Sua explicação requer uma compreensão da visão geocêntrica do céu. O Sol possui dois movimentos: diariamente passeia de leste para oeste, e ao longo do ano, seu local de aparição e pôr desloca-se de Sul para o Norte (também muda a elevação máxima) para voltar ao Sul. Relacionados com este movimento anual, acontecem dois solstícios ao longo do ano, nos meses de dezembro (aproximadamente em 21) e de junho (também aproximadamente no dia 21). Quase todos os povos conheceram estes instantes importantes do calendário solar, que marcam de certa forma as mudanças climáticas. Os outros dois dias importantes são os Equinócios que acontecem nos meses de março e setembro e completam as indicações de mudança de estação.

Jenkins nos diz que em 2012, em 21 de dezembro, durante o solstício, o Sol estará visualmente na região do Centro Galáctico, eclipsando-o. A coincidência seria muito grande, em verdade, e sua predição sem dúvidas significa uma imensa capacidade de cálculo astronômico. A conclusão seria clara então, os maias foram mestres muito competentes nas Ciências do Céu.

A Figura 4.2 mostra uma imagem de como estará o céu em 21 de dezembro de 2012 na cidade de São Paulo. Eu a fiz usando o programa `kstars`. No centro, o círculo amarelo representa o Sol, dentro de uma região cinza que representa a luz difusa da Via Láctea. A linha de cor laranja é a eclíptica, a curva imaginária que traça o Sol no seu percurso anual (ou colocado de outra forma, o plano da órbita da Terra). Seguindo a linha cor laranja para abaixo vemos Mercúrio, Vênus fica um pouco mais para abaixo, fora do quadro, para acima está o destronado Plutão e um pouco mais acima ainda está Marte. A pequena cruz vermelha com as letras GC, indica a posição do Centro Galáctico. Antes de atribuir grande poder de cálculo aos maias, vale ressaltar que o Sol sempre está nessa região, a constelação de Sagitário, nessa época do ano, pelo menos nos últimos 2.000 anos. E ali estará por bastante tempo mais até que a precessão empurre para Escórpio.

Ainda assim poderia acontecer que para 2012 o movimento do eixo da Terra criasse uma situação única. Decidi verificar esta predição. Restringi o cálculo aos solstícios entre 1900 e 2100, 200 anos. Utilizei programas públicos, distribuídos num pacote muito utilizado por astrônomos solares chamado `SolarSoft`. Calculei a posição do Sol em coordenadas cartesianas, corrigidas para o ano 2000 (o que tecnicamente se chama J2000) e depois transformei essas coordenadas para o sistema galáctico. Nesse sistema, a origem de coordenadas é o CG. Por último grafiquei a separação angular do Sol ao CG em função do tempo. Na Figura 4.3 estão os resultados. No eixo das abcissas (horizontal) está representado o ano, no eixo das ordenadas (vertical) a distância angular em graus. A curva vermelha indica o valor da distância para cada solstício de dezembro. Podemos apreciar uma lenta diminuição. (aparentemente o mínimo acontecerá em 2219.) Mas em 2012, marcado por um pequeno círculo preto e dois eixos cinzas, não existe particularidade nenhuma. Temos de levar em conta também que o Sol estará, ao chegar a sua mínima distância, a mais de 5°. Não se tratará de nenhum eclipse, porque o tamanho da região de Sagitário A* é de 37 micro segundos de

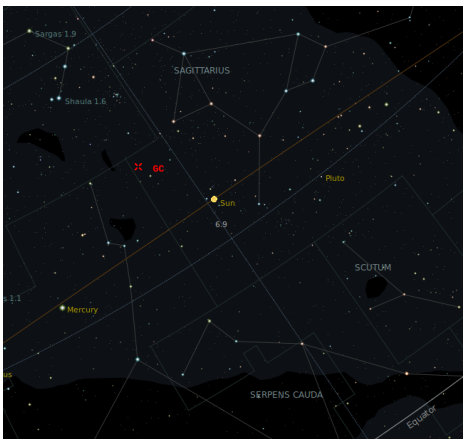


Figura 4.2: Representação do céu na cidade de São Paulo para o dia 21 de dezembro de 2012. A pequena cruz vermelha indica a posição do Centro Galático. O círculo amarelo é o Sol. (Gerado com o programa `kstars`).

arco, ou escrito em graus $0,00000001°$. Cinco graus são uma distância infinita para um objeto desse tamanho.

Conclusão. Não existirá alinhamento algum entre o Sol e o Centro Galáctico, nem haverá situação nenhuma particularmente relevante durante o solstício de dezembro de 2012. Esta, no entanto, não é toda a história do alinhamento, segundo Jenkins. A seguir os desdobramentos de suas ideias.

4.1.1 A Astrologia Galática Axial de J.M. Jenkins

O norte-americano John Major Jenkins é um dos pioneiros das profecias maias de 2012. Autodidata, suas raízes vão desde a arqueologia até o misticismo gnóstico, passando pela astronomia. Esta independência de origens é, segundo ele, sua maior virtude porque lhe permite manter opiniões diferentes sem sentir obrigações com nenhum grupo particular. Desta forma, Jenkins transformou-se num excêntrico rejeitado pela maioria das tendências proféticas. Ao mesmo tempo ele fica decepcionado por não ter sido nunca aceito no Parnaso Científico.

A precessão cria, segundo Jenkins, uma astrologia que relaciona a posição do Sol com o Equador Galático e que sobrepõe o movimento anual do Sol à precessão dos equinócios, encontrando uma concordância entre um ciclo de 1 ano, com outro de 26.000 anos. Para ser mais precisos, Jenkins acredita ter encontrado em iconografias e epigrafias maias a versão mesoamericana do *Ciclo Precessional da Cruz Sagrada*, embora teve de adaptar a versão original baseada na posição do Polo Norte Celeste e do Primeiro Ponto de Áries, para usar o solstício de dezembro. A ideia é que a precessão do eixo terrestre, cujo período é um pouco menor que 26.000 anos, cria uma espécie de ano, onde cada dia (tempo que leva o eixo girar 1°) dura aproximadamente 72 anos terrestres. A medida que o eixo vai girando o Sol ocupa diferentes lugares no céu durante o solstício

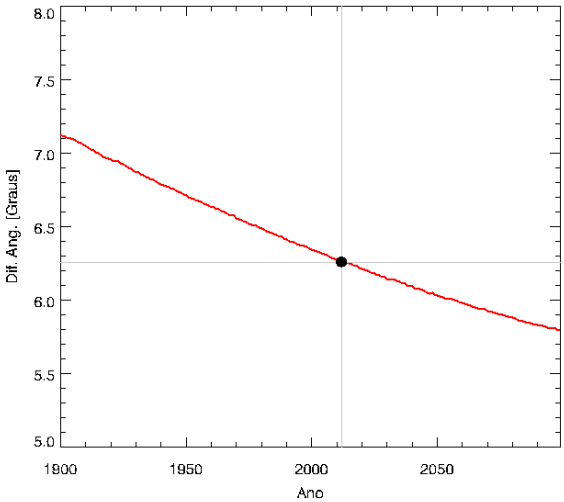


Figura 4.3: Representação da distância angular entre o Sol e o Centro galáctico em 21 de dezembro desde o ano de 1900 até o ano 2100. Aprecia-se uma gradativa diminuição com mínimo para 2219 aproximadamente. No entanto o ano de 2012 (ponto preto) não possui nenhuma peculiaridade.

de dezembro. Da mesma forma que acontece com a astrologia tradicional, a associação do Sol com um lugar no céu recebe uma interpretação particular (os signos do zodíaco). Como na astrologia, esta associação é simbólica e não supõe a ação de fenômenos físicos, ela atúa em um plano espiritual, não-material. De fato Jenkins identificou apenas um signo neste Zodíaco Galático Axial, que poderiamos chamar do jacaré que corresponde a uma larga e comprida mancha escura claramente visível na Via Láctea e que ele chama de falha escura (*dark rift* em inglês), próxima ao Equador Galático. Quando Jenkins percebeu que em 2012, durante o solstício de verão, o Sol atravessará o Equador Galático, pensou ter achado a chave da Contagem Longa maia. De forma mais precisa, durante um solstício, o centro do disco solar esteve mais próximo do Equador Galático no ano de 1998. (Perceba-se, que o Sol atravessa o Equador Galático todo ano. *Trata-se de saber, quando esteve mais próximo durante um solstício.*) Mas como o Sol tem uma extensão de meio grau, desde 1977 até 2019 estará de alguma forma em contato com o Equador. A Figura 4.4 ilustra esta situação. Por esse motivo, Jenkins fala de uma *Era 2012*, uma espécie de janela temporal ao longo da qual muitas mudanças virão. Sua visão não é de forma alguma catastrófica. Ele acredita que as mudanças acontecerão na medida em que as pessoas voluntariamente as aceitem, e não espera que tsunamis, terremotos, rios de lava, tempestades solares ou magnéticas venham a acabar com a civilização. Seu pensamento é muito simbólico, como toda astrologia, e sua mensagem repousa num plano espiritual. Por esse motivo ele contrariou os outros profetas do 2012, demonstrando que as profecias apocalípticas não têm base científica.

No entanto, o discurso de Jenkins não consiguiu comover aos cientistas: nem aos arqueólogos, nem aos astrônomos. Por quê? Seus cálculos não estão errados.

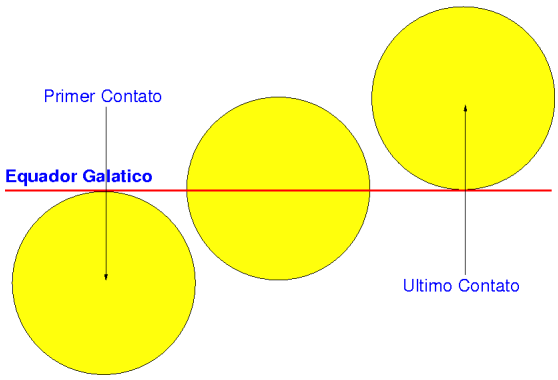


Figura 4.4: Esquema que representa o cruzamento do Sol durante o solstício de verão pelo Equador Galáctico. A linha vermelha horizontal representa o Equador. Os três círculos amarelos são três posições do Sol durante o solstício de dezembro: a esquerda em seu primeiro contato com o Equador, a direita em seu último contato, no centro, quando o centro do disco solar coincidiu com o Equador.

Será por uma atitude soberba e neurótica que teme perder o poder que lhes dá o conhecimento, como cita Jenkins em seu último livro *The 2012 story*? Acredito que o problema da teoria de Jenkins é que tem bases pouco firmes e avança a passos muito largos. Nos parágrafos seguintes eu vou contra argumentar os aspectos que, a meu ver, são básicos nas ideias de Jenkins.

Astronomicamente, como eu disse antes, os cálculos são aproximadamente corretos. Decidi repeti-los, embora não utilizei todas as correções necessárias, por esse motivo posso ter discrepâncias com seus resultados e com outros mais precisos. Na Figura 4.5, a curva vermelha representa a distância angular do centro do disco solar ao Equador galáctico durante o solstício de dezembro. Esta distância é chamada de latitude galáctica. As bandas cinzas representam a Era 2012, o período durante o qual, o Sol estará em contato com o Equador Galáctico. Segundo meus cálculos começou em 1977 (primeiro contato) e terminará em 2019 (último contato). O pequeno círculo azul representa a posição do Sol em 2012. Em 1998 aconteceu a maior aproximação do centro do disco solar ao Equador Galático durante um solstício.

Jenkins diz num artigo publicado em Internet[2] que cálculos mais precisos mostram que o fim da Era 2012 será em 2021, e confirmam seus resultados sobre 1998. Qué relação tem com 2012 então? Talvez teria sido mais lógico que os maias indicassem o instante central da conjunção galáctica do solstício de 1998. Segundo Jenkins, um erro de 14 anos num calendário de mais de 5.000 pode ser perdoado. Segundo ele, um resultado com um erro de uma centena de anos poderia ser considerado ainda uma grande façanha. O problema é como ter certeza de que os maias previram o acontecimento sem uma referência explícita e sem uma coincidência mais precisa? Porque, de fato, o Equador Galático não é um objeto celeste que possa ser visto a olho nu. A fotografia da Figura 4.6

[2] `http://alignment2012.com/truezone.htm`

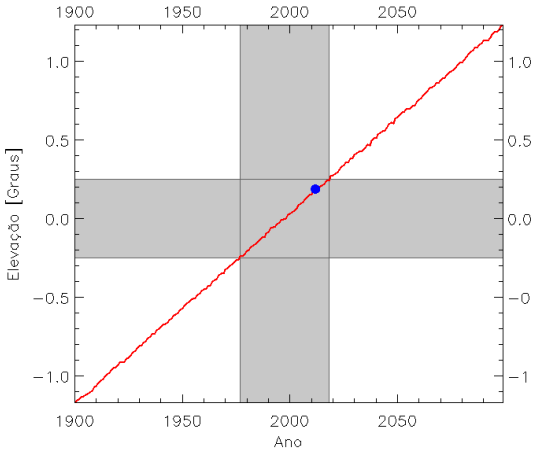


Figura 4.5: Distância angular do Sol durante o Solstício de dezembro, ao Equador Galáctico (latitude galáctica), para distintos instantes entre 1900 e 2100. O círculo azul representa a posição do centro do disco solar em 2012. O periodo entre as bandas cinzas é a Era 2012.

mostra a região central de nossa Galáxia como pode ser observada através de um telescópio médio, um pouco melhor de como a viram os maias.

Como pode ser apreciado, o Equador Galáctico é uma linha abstrata definida por astrônomos modernos. De fato a definição original foi mudada, e, provavelmente, não seja unânime. Apenas representa uma convenção útil. Podemos supor que os maias, se alguma vez tiveram noção da Via Láctea (questão ainda em dúvida), teriam escolhido a mesma convenção? Em outros textos, menos astronômicos, Jenkins faz referência a passagem do Sol pela falha escura em vez do Equador Galáctico, uma região próxima ao Equador formada por núvens de gás e poeira que por absorver a luz das estrelas fica sombria e que pode ser observada sem utilizar telescópios. Mas aqui ele é confuso, porque em algumas publicações a identifica com a região mais escura a esquerda da imagem, que se extende para o Norte. Esta região, segundo ele, é associada a representações de jacaré encontradas em inscrições de Izapa, civilização maia pre-classica, localizada ao Sul do México atual, próximo da divisa com Guatemala. Se esse é o caso, até o Sol atingir esta região, ainda falta mais de 1.000 anos. O Equador fica sobre uma banda relativamente brilhante (ver Figura 4.6), depois da qual segue uma banda escura. Se Jenkins está pensando nesta região quando fala da falha escura, como ela se encontra a aproximadamente 3° de latitude galáctica, ainda faltam mais de 100 anos para que o sol ingresse dentro dela, e muito mais ainda para atravessá-la de forma completa. Por último, a falta de clareza no discurso de Jenkins fica clara no texto antes referido, extraído de um artigo escrito por ele mesmo, onde fala do Centro Galáctico!

Conheciam a precessão dos equinócios os maias? Alguns autores acreditam que é provável, embora não encontraram nunca evidências claras. Para que a teoria de Jenkins funcione, os maias deveriam ter percebido o fenômeno, e

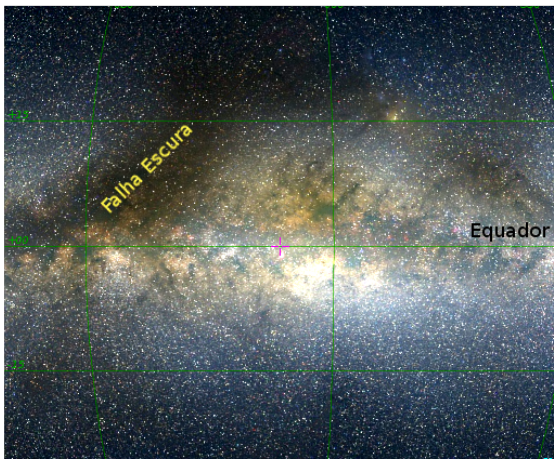


Figura 4.6: Fotografia ressaltada da região central da Via Láctea. As linhas verdes representam as coordenadas galácticas. No centro da imagem, a linha horizontal verde representa o Equador Galáctico. A cruz magenta indica a posição do Sol durante o solstício de dezembro de 1998, momento de máxima aproximação. Também identifica-se a falha escura.

além do mais, deveriam tê-lo medido, para poder prever quando aconteceria a conjunção de 2012. Só no último livro de Jenkins (*2012, The story*), ele afirma que de forma independente dois pesquisadores, Barbara MacLeod e Michael Grofe, teriam mostrado que os maias não apenas conheciam mas também calibraram a precessão axial terrestre. Estes descobrimentos, realizados recentemente, não acredito sejam ainda conclusivos. Eles se baseiam na análisise de séries numéricas extraídas por exemplo do Códice de Dresde sem referência alguma, e interpretadas de forma livre por pessoas educadas na astronomia esférica moderna. Que dizer, a poluição intelectual na interpretação não pode ser descartada e precisam, necessariamente, de uma confirmação independente que ainda não existe. Sem conhecer a precessão, a teoria de Jenkins é nula. Lembremos que alguns pesquisadores, afirmam ainda não haver provas conclusivas de que os maias soubessem que o ano trópico é formado por um número não exato de dias (ou de outra forma: não conheciam o ano bissesto).

Existe outro aspecto que não pode ser ignorado. Depois de uma longa controversia, Jenkins afirma que a Contagem Longa acaba em 13.0.0.0.0, que corresponde a 21 de dezembro de 2012 no calendário gregoriano, durante um solstício. A escolha do fim de ciclo não teria sido por acaso, sendo os maias capazes de prever um solstício pelo menos 2.100 anos antes (antigüedade da civilização de Izapa, onde encontram-se os primeiros registros da Contagem Longa). Se isto não é suficiente para mostrar a habilidade astronômica maia, Jenkins nota que ao mesmo tempo o início deste calendário, 11 de agosto de 3114 A.C. corresponde ao dia seguinte que o Sol passou pelo Zénite de Izapa (quer dizer, ao meio-dia o Sol não fez sombra). Se uma data poderia ser coincidência, duas, parece muito improvável. No entanto, por culpa da precessão dos equinócios, em 12 de agosto de 3114 A.C. o Sol passou muito longe do Zénite de Izapa, tor-

nando a data irrelevante. Por outro lado, é um tanto contraditória a precisão maia para sincronizar seu calendário de mais de 5.000 anos com um erro menor que um minuto de ângulo para determinar o solstício de dezembro de 2012, enquanto que a precisão do alinhamento galáctico, segundo Jenkins, é menor que 15 minutos (de ângulo). Ou melhor explicado, como pode ser que o povo que foi capaz de ter um calendário com precisão de 1 dia em 5000 anos, erre em dezenas de anos uma data tão importante quanto o cruzamento do Sol pelo plano galáctico. A mesma civilização parece incapaz de conseguir resultados semelhantes.

Jenkins adiciona uma grande quantidade de argumentos derivados de suas análises simbólicas das iconografias, epigrafias e arquiteturas maias, principalmente da cidade de Izapa. O relato de Jenkins é convincente, embora autoreferenciado demais. Não vou entrar a analizar aqui estes argumentos que ele mesmo afirma basear em parte em conhecimento gnóstico, ou seja, produto de revelações. Mas não posso deixar de destacar que chama a atenção o fato de que, segundo Jenkins, os maias prestaram tanta atenção ao solstício de dezembro, atribuindo-lhe características de renascimento. Esta intrepretação é usual entre os povos nórdicos, onde, depois de um longo e cruel inverno com baixas temperaturas e neve, o retorno do Sol (o solstício é o momento em que o Sol reverte seu movimento) é o presságio da primavera. Existe uma extensa evidência de que povos neolíticos europeus construíram monumentos orientados para o lugar onde sai o Sol no solstício, como por exemplo Stonehenge na Inglaterra. Mas os povos de latitudes menores, como por exemplo os de Oriente Médio, não prestaram tanta atenção ao soltício, sendo o equinócio e o ponto vernal o marco de referência da Astrologia Ocidental. Por esse motivo eu não esperaria que os maias, povo localizado no Trópico, dessem uma interpretação de renascimento ao solstício.

E qual poderia ser o sentido de criar um calendário de mais de 5.000 anos apenas para indicar que o último dia é importante? Nosso calendário, cuja relação com o Zodíaco é evidente, consta de divisões e cada uma delas tem alguma importância. Assim, agrupando três meses, podemos definir as estações do ano. No entanto, um ciclo completo de 13 bak'tuns da Contagem Longa, não parece ter relação com o ano axial de 26.000 anos, mesmo considerando 5 ciclos sucessivos que dão $5 \times 1.872.000 dias = 9.360.000$ dias $= 25.623,83$ anos, um valor bastante menor que os 26.000 anos que demora o eixo de la Terra girar $360°$.

Na constelação de profetas do 2012, Jenkins é quem demonstra melhor formação acadêmica e é também o menos perigoso porque não tem um discurso apocalíptico, porém suas ideias não terminam de convencer os céticos. Os seus aspectos mais científicos ou racionais não parecem ter uma base coerente. Ele é criticado também, pela obsessão em interpretar astronomicamente a maior parte das imagens e arquiteturas maias. Por outro lado, Jenkins se irrita com aqueles que pedimos cautela nas conclusões. Ele se irrita ainda com os que o confundem com os apocalípticos da Nova Era. Irrita-se com os cientistas materialistas que desestimam o misticismo. Compara-se com Galileu, perseguido pela Igreja Romana, obrigado a abjurar de suas descobertas. Jenkins se alegra com o reconhecimento a seu trabalho por alguns jovens scholars (como M. Grofe e B.

MacLeod). Felicita-se pelos convites cada vez mais frequêntes para participar em painéis científicos. Emfim, irrita-se com José Argüelles e Carl Callemann aos que acusa de tergiversar e confundir a autêntica tradição e culturas maias. Não cabe a menor dúvida que ele é uma figura atípica em toda esta história.

4.2 Mega Explosão Solar

Diz Gregg Braden:

> Em 10 de março de 2006, acabou o ciclo solar de tempestades e recomeçou um novo. Está previsto que ele seja máximo em 2012, com uma intensidade 30 - 50% maior que o anterior. (*Choice Point 2012. Our date with the window of emergence.*, em *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

No capítulo sobre o Sol, mostramos como a variação do seu Campo Magnético lhe altera o comportamento, cujos fenômenos mais impactantes são as liberações de energia e matéria, chamadas de explosões e Ejeções de Massa respectivamente. O campo magnético solar varia quase periodicamente, de forma que a cada 11 anos aproximadamente os episódios violentos podem acontecer várias vezes por dia, durante o chamado Máximo de Atividade. Entre dois máximos de atividade consecutivos, acontece um Mínimo durante o qual o Sol aparenta estar em estado muito calmo.

A energia das explosões e a matéria são liberadas no ambiente interplanetário e, eventualmente, chegam à Terra, onde interagem com o meio em geral, mudando as condições da atmosfera nas suas camadas mais altas principalmente, e podendo criar alguns problemas nos sistemas de satélites. Menos frequentemente, os eventos solares podem afetar tecnologias na superficie da Terra, como as comunicações rádio, ou a distribuição de energia elétrica ou gás.

Braden alerta então, que o ciclo anterior (XXIII) acabou em março de 2006 e que vamos em direção de um novo ciclo com máximo em 2012. A coincidência de datas chamou a atenção dos profetas de 13 Baktun que o consideram um sinal da veracidade da profecia maia. No entanto vários esclarecimentos devem ser feitos. Em primeiro lugar, o Ciclo XXIII não acabou em março de 2006. Se é para colocar uma data diriamos que em 3 de janeiro de 2008 apareceu a primeira mancha do ciclo XXIV, mas o Ciclo XXIII ainda continuou produzindo manchas durante mais um certo tempo. Por outro lado o mínimo de atividade aconteceu em dezembro de 2008. Certamente não sei de onde Braden tirou aquela data de 2006.

Por outro lado, ele afirma que o Ciclo XXIV será mais intenso que seu predecessor,e para apoiar suas afirmações, ele cita a Mausumi Dikpati do National Center for Atmospheric Research (Boulder, EEUU). Antes de discutir sobre a previsão do ciclo solar, gostaria de entrar na questão das conseqüências das tempestades solares na Terra. No capítulo sobre o Sol comentamos o que pode acontecer. Mas, antes de qualquer especulação: não esperem uma labareda advinda do Sol, reduzindo a Terra a carvão como no filme *Presságio* (*Knowing*

em inglês). Também não imaginem que Dikpati acredita que os neutrinos aumentarão a interação com o núcleo da Terra elevando sua temperatura, o que resultará num aumento na intensidade e número de terremotos, como no filme *2012*.

Gregg Braden acredita que a inversão magnética do Sol, junto com a da Terra poderia criar um caos generalizado nos seres vivos que, segundo ele afirma, dependem do campo magnético de uma forma intensa e ainda não conhecida. É difícil entender, porém, porque variações no campo magnético terrestre, cuja intensidade é menor a 0,5 G (0,00005 T), poderiam ocasionar mais problemas à saúde humana que os ímãs de geladeira, por dar o exemplo mais corriqueiro, cuja intensidade pode ser superior a 50 G (0,005 T), ou seja 100 vezes maior ao terrestre. De qualquer forma, e vou adiar a discussão sobre as consequências da variação repentina do Campo Magnético Terrestre para o último tópico deste capítulo.

Fora a questão magnética que, a meu ver é a menos problemática do Ciclo de Atividade Solar, debate-se muito sobre as consequências que as tempestades ou explosões solares possam ter na Terra. Escuta-se dizer que na atual era tecnológico-dependente, os cortes de energia elétrica que podem acontecer em decorrência de eventos solares (vide Seção 6.5) chegariam a afetar as comunicações, incluindo Internet e colapsando o sistema bancário. (Assim dá a entender a NOAA norte-americana no artigo NOAA: *Sunspot is Harbinger of New Solar Cycle, Increasing Risk for Electrical Systems*). Algumas estimações catastróficas dos danos baseiam-se nas consequências que uma explosão do tipo que observou Carrington em 1859 voltasse a acontecer hoje em dia, desta forma a maioria das previsões de danos na Terra estão baseadas no prognóstico da atividade solar supondo que a maior atividade, maior a probabilidade de acontocer um evento Carrington de consequências desastrosas. O próprio Braden cita a Dikpati para dizer que o ciclo atual (XXIV) será mais intenso que o anterior (*Predicting cycle 24 using various dynamo-based tools*). No entanto o método que usa Dikpati para prever a atividade solar deve ainda demonstrar sua efetividade. De fato, quando Dikpati publicou seu trabalho, a comunidade de cientistas solares encontrava-se dividida entre aqueles que acreditavam que a atividade aumentaria e os que pensavam o contrário. Hoje, com mais dados, existe um consenso maior sobre a diminuição da atividade. Métodos baseados na performance de ciclos anteriores ou na intensidade do Campo Magnético Polar tiveram bons resultados nos anos passados (ver por exemplo, Petrovay, K., *Solar Cycle Predictions*, 2010). Outros autores também acreditam que o ciclo XXIV terá escassa atividade e ainda menos o seguinte que deverá começar para 2019 aproximadamente. (*The Forthcoming Grand Minimum of Solar Activity*, S. Duhau and C. de Jager, 2010; *Is the Sun Heading for Another Maunder Minimum? Precursors of the Grand Solar Minima*, H.Miyahara e col., 2010). O Centro Marshall da NASA elabora seu próprio preditor de atividade solar. Usando dados obtidos em 27 de fevereiro de 2011, eu confeccionei o gráfico da Figura 4.7.

Podemos ver duas coisas: 1) o máximo acontecerá vários meses depois da fatídica data de Dezembro de 2012 e 2) em comparação com o ciclo anterior (XXIII) teremos um máximo menos ativo (metade do índice de manchas), se

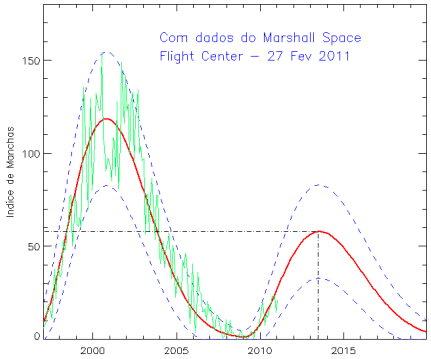


Figura 4.7: Previsão do Ciclo XXIV elaborada pelo Marshall Space Flight Center. A curva vermelha é a previsão mais provável com suas bandas de tolerância, acima e embaixo em azul. A curva verde representa o índice de manchas elaborado pela NOAA multiplicado por 0,65. A linha pontilhada indica o máximo de atividade, para maio de 2013.

não é ainda menor porque desde 2008 foram reajustados para abaixo as previsões. Por outra parte, os eventos solares mais intensos acontecem depois do máximo, quando o campo magnético encontra-se muito emaranhado. Por exemplo, foi durante outubro/novembro de 2003, quase três anos depois do máximo XXIII, quando tivemos os eventos mais energéticos. Em outras palavras, de acontecer algum evento muito intenso, não será antes de 2015 o 2016.

Agora bem, em toda esta história algo falta: existe alguma evidência de que os maias tivessem tido conhecimento do ciclo solar? Conheciam as manchas do Sol? Percebiam mudanças em épocas de máximo para poder acompanhar seu comportamento? Além de deifica-lo, e de estudar seu movimento no céu, os maias desconheciam tudo sobre ele. De seu legado escrito e oral, não temos nenhum motivo para suspeitar que alguma vez tiveram ao menos alguma inquietude sobre as variações quase-cíclicas da atividade do Sol. De onde então podemos esperar que tenham previsto, 3.000 anos atrás, que em 2012 o Sol teria uma atividade singular capaz de danificar sensivelmente nossa civilização? Em que estela ou códice, em qual escultura ou representação podemos interpretar esta profecia maia para 2012? Não é talvez uma busca de nossos profetas modernos de elementos que lhes permitam sustentar suas próprias convicções? A discussão assim, se torna uma questão abstrata.

4.3 Inversão dos pólos Magnéticos

Segundo Gregg Braden, estamos nas portas de uma inversão do campo magnético terrestre:

> Sabemos, por exemplo, que de vez em quando acontece algo realmente excitante, algo impensável. Por razões que não estão ainda

> bem compreendidas, nossos familiares pólos norte e sul intercambiam seus lugares, o campo magnético da Terra faz uma inversão repentina e completa. Embora as inversões magnéticas são estranhas na história da civilização, os registros geológicos mostram que elas acontecem rotineiramente em termos da história da Terra. Nos últimos 76 milhões de anos, aconteceram 171 inversões magnéticas, das quais pelo menos 14 nos últimos 4,5 milhões de anos. (*Choice Point 2012. Our date with the window of emergence*, em *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

Braden cita em apoio a suas preocupações um artigo da seção de Ciências do New York Times que diz: *O colapso do campo magnético da Terra, que ao mesmo tempo protege o planeta e guia muitas de suas criaturas, parece ter começado seriamente 150 anos atrás.* E agrega Braden: *Há poucas dúvidas, ao menos nas mentes dos cientistas de que a inversão já começou.*

No entanto o mesmo artigo, *Will compasses point South?*, diz algumas outras coisas que Braden não cita. *Uma inversão poderia inutilizar o serviço de transmissão elétrica, ferir astronautas e danificar satélites, aumentar o Buraco de Ozônio, enviar as auroras polares até o Equador e confundir pássaros, peixes e animais migrantes que dependem da estabilidade do campo magnético para se assistir na navegação*, começa dizendo mas imediatamente agrega: *os especialistas dizem que as repercusões não serão catastróficas, apesar de alguns poucos augúrios fatalistas e evidências inconclusivas da relação entre a inversão e extinções em massa.* O artigo informa depois que a Agência Espacial Europea estava projetando uma missão espacial para medir com precisão a variação secular do campo magnético porque temia algum impacto nos seus satélites. E, por último, termina afirmando: *Não importa o que descubram estas pesquisas, não devemos temer, dizem os cientistas. Embora uma inversão seja iminente, pode tomar 2.000 anos para se completar. A última aconteceu há 780.000 anos, quando o Homo Erectus ainda estava aprendendo a usar ferramentas de pedra.*

Se destaco este artigo é porque é Braden quem lhe dá importância e o usa para afirmar depois que a inversão magnética está en cernes e pode acontecer tão rapidamente que um animal pode não chegar a digerir sua comida!

Os modelos teóricos do campo terrestre prevêem que a duração da mudança não pode durar menos que 2.000 anos. Assim o mostra o modelo 3D do interior terrestre ideado por Gary Glatzmaier e Paul Roberts da Universidade de California em Los Angeles, um dos mais precisos realizados até o momento. De fato na atualidade, medidas a variação do campo magnético mostram valores médios anuais de alguns minutos de arco em declinação (direção que aponta a bússola) e de algumas centenas de nano Teslas (nT) em intensidade (o valor médio da intensidade é de dezenas de milhares de nT), resultados publicados pelo International Geomagnetic Reference Field. As mudanças dependem da região do planeta: com un máximo de 20° de declinação na Alaska e praticamente nada no Japão nos últimos 100 anos. (*Magnetic Monitoring of Earth and space*, J.J. Love)

Não vou ocultar aqui as pesquisas que dão conta de inversões muito rápidas. Em 1995, Coe, Prêvot e Camps, publicaram um trabalho que mostra uma deriva magnética de 6°/dia, ou uma inversão completa em um mês[3]. O trabalho encontrou uma seqüela recentemente[4] que mostra uma variação da declinação magnética de 1°/semana. Obviamente ambos os trabalhos são muito controvertidos. Já falamos antes que dos modelos teóricos espera-se que a inversão leve milhares de anos. Mas temos um exemplo próximo e muito bem estudado: o Sol, cujo ciclo de inversão dura em média 11 anos. Embora o volume da Terra é muito menor e seu campo magnético mais fraco, o interior terrestre é uma mistura de metal líquido e núcleo sólido o que deve tornar as mudanças mais lentas que no interior gasoso solar.

Então voltamos a tratar das consequências de uma inversão magnética. Apesar de que, como nota o artigo do New York Times, haja alguma evidência da relação entre extinções em massa e inversões magnéticas, a mesma é muito controversa e escassa, e o senso comum me leva a pensar que não deveria acontecer nada de catastrófico. Para isso é suficiente ver que o campo magnético varia permanentemente. Temos uma tendência a esperar que as características naturais sejam estáveis, eternas. Mas não é assim, o Universo inteiro está em permanente mudança. Em particular as medições do campo magnético, como notamos antes, mostram que este está na deriva sem interrupção. Se a vida na Terra tem bilhões de anos, já deve ter se acostumado a estas mudanças. Já foi dito que a última inversão foi há 780.000 anos quando o homem ainda morava nas cavernas. Aliás, hoje em dia, o ser humano desloca-se milhares de kilômetros sobre a superficie da Terra, chegando a alturas de centenas de kilômetros, no caso dos astronautas, ou de milhares de metros no caso dos passageiros de avião. Em todas essas viagens ele é sometido a variações do campo magnético relativamente intensas (com respeito à média do campo terrestre). Até agora, ao meu saber, não existem relatos de danos a saude de origem magnética.

Para ressaltar a importância da inversão polar, Braden afirma que, quando acontece, o campo global se enfraquece e onde o campo magnético é fraco, a humanidade está em crise. E assim conclui que *os lugares en nosso mundo com as menores intensidades magnéticas, atravessados por linhas de contorno zero (0 Gauss), correm diretamente sobre o canal de Suez e Israel, são precisamente os lugares onde vemos as maiores oportunidades para uma mudança.* Não sei de que campo magnético 0 fala Braden, porque não existe nenhum lugar na Terra com campo nulo. No entanto a região com menor campo magnético, da ordem de 0,000025 T (25.000 nT ou 0.25 G) fica acima das costas do sul do Brasil, e extende-se pelo Paraguai e a Argentina. Esta é a chamada Anomalia do Atlântico Sul. Em comparação com qualquer outro lugar do planeta, a região é política e socialmente extremamente tranquila. Como referência, e já que ele comenta, no Oriente Médio, a intensidade total do campo magnético é aproximadamente o dobro que na região da Anomalia.

Para encerrar este capítulo, me pergunto mais uma vez, quais indícios temos de que o povo maia, tão perspicaz, tenha percebido a existência de um Campo

[3] *New evidence for extraordinarily rapid change of the geomagnetic field during a reversal*
[4] *Very rapid geomagnetic field change recorded by the partial remagnetization of a lava flow*

Magnético e encontrado sua influência sobre os seres vivos. Nem o próprio Braden é capaz de citar um exemplo. Lembramos que embora a bússola era conhecida dos chineses desde o século IV A.C., não é até o século XVII, com os trabalhos de William Gilbert, que as propriedades do Campo Magnético Terrestre foram estudadas.

4.4 Bibliografia

A seguir, uma lista de livros e artigos que foram consultados para escrever este capítulo.

Argüelles, J., *The Mayan Factor:Path beyond Technology, en The mistery of 2012*, Sounds True, Boulder, EEUU, ISBN: 978-1-59179-674-9 (2009)

Aveni, A. F., *Observadores del cielo en el México antiguo*, Fondo de Cultura Económica (México), ISBN: 0-2927-7557-1 (1980)

Bogue, S.W., Glen, J.M.G., *Very rapid geomagnetic field change recorded by the partial remagnetization of a lava flow*, Geophys. Res. Lett., 37,L21308, 5 PP (2010)

Coe, R.S., Prêvot, M., Camps, P., *New evidence for extraordinarily rapid change of the geomagnetic field during a reversal*, Nature,374,687-692 (1995)

Dikpati, M., *Predicting Cycle 24, using varios dynamo-based tools*, Ann. Geophys., 26, 259–267 (2010)

Duhau, S., de Jager, C., *The Forthcoming Grand Minimum of Solar Activity*, Journal of Cosmology, 8,(2010), `http://journalofcosmology.com/ClimateChange111.html` (acesso em 08 de março de 2011)

Fuls, A.,*Archästronomie*, `http://www.archaeoastronomie.de`, acesso em 9 de outubro de 2010

Jenkins, J. M., *2012, a historia*, Larousse do Brasil,São Paulo, ISBN: 978-85-7635-718-6 (2010)

Jenkins, J. M., *The origins of the 2012 Revelation*, em The mistery of 2012, Sounds True, Boulder, EEUU, ISBN: 978-1-59179-674-9 (2009)

Jenkins, J. M., *The True Alignment Zone*, `http://alignment2012.com/truezone.htm`, acesso em 26 de dezembro de 2010

Jenkins, J. M., *The Great Year and the Lost Star* `http://www.alignment2012.com/thoughtsoncpak-sent-to-heidi5-24.html`, acesso em 26 dezembro de 2010.

Miyahara, H., Kitazawa, K., Nagaya, K., Yokoyama, Y., Matsuzaki, H., Masuda, K., Nakamura, T., Muraki, Y., *Is the Sun Heading for Another Maun-*

der Minimum? Precursors of the Grand Solar Minima Journal of Cosmology, 8,(2010), http://journalofcosmology.com/ClimateChange104.html, acesso em 08 março de 2011.

Petrovay, K., *Solar Cycle Predictions*, Living Rev. Solar Phys. 7, 6,(2010) http://www.livingreviews.org/lrsp-2010-6, acesso em 27 de fevereiro de 2011

Parte II

À luz das ciências

Capítulo 5

O mistério do jato galático

Figura 5.1: Uma foto 360° do sítio do telescópio VLT (ESO) em Paranal, Chile. A direita dos 5 prédios se vê a faixa *leitosa* entremeada de manchas escuras: a Via Láctea. (Wikimedia Commons)

Na escuridão do céu noturno numa lua nova, uma faixa esbranquiçada cortada por manchas escuras, atravessa a abóbada profunda cheia de estrelas (ver Figura 5.1). Os gregos a chamaram *Galáxias* ($\gamma\alpha\lambda\alpha\xi\iota\alpha\zeta$) e acreditavam que era o leite de Hera derramado no céu para chegar a Héracles filho do deus Zeus e a princesa Alcmena, neta de Perseu. Todas as culturas criaram mitos em torno dessa faixa iluminada que hoje chamamos **Via Láctea**, tradução literal da palavra grega.

Aristóteles diz que Anaxágoras e Demócrito propuseram que a Via Láctea é composta por um grande número de estrelas indistinguiveis que formam a faixa *leitosa*. Provavelmente foi Galileu Galilei, o primeiro a observá-la com um telescópio, quem comprovou a teoria dos filósofos gregos. Com o aumento da potência dos instrumentos descobriram-se *nebulosas espirais* que assemelhavam à Via Láctea, e que o astrônomo norte-americano Heber Curtis chamou de *universos ilhas*. Durante um debate muito lembrado enfrentaram-se a princípios do século XX os astrônomos que pensavam que os *universos ilhas* de Curtis eram objetos externos da Galáxia, com aqueles que acreditavam que fazem parte da mesma. Foi Edwin Hubble quem finalmente encerrou a discusão ao calibrar a distância a algumas destas *nebulosas*, encontrando valores de milhões de anos luz, incompatíveis com o tamanho de nossa galáxia.

Estando imersos na Via Lactea, como dentro de um bosque, nos resulta difícil compreender sua estrutura e tamanho. Por isso estudamos outras como a que aparece na imagem da figura 5.2.

As galáxias, além de estrelas, são compostas de *matéria escura*, maiormente gás e pó. A partir do gás formam-se as estrelas e os planetas. Ao longo de sua vida ativa, uma estrela devolve material ao meio onde se formou. Este material encontra-se alterado, e assim as novas estrelas terão uma composição diferente fazendo com que lentamente a galáxia evolua. Sabemos, por exemplo, que elementos mais pesados que o ferro tiveram que se formar nos fornos violentos das *supernovas*, estrelas que no fim de seu ciclo principal, explodem. O ouro que fascinou desde sempre o homem, se formou em alguma supernova da região onde depois criou-se o Sistema Solar.

Figura 5.2: Galáxia M81, ou NGC3031, só observada no Hemisfério Norte na constelação da Ursa Maior, uma das primeiras a aparecer nos catálogos e que pode ser observada sem necesidade de telescópio. Fotografia do Hubble Space Telescope (Copyright: Space Telescope Science Institute e NASA)

Provavelmente as galáxias sejam os primeiros *novos* objetos estudados após a invenção do telescópio. Algumas podem ser observadas sem aumento, embora resulta difícil distinguir a estrutura que as diferencia. Conhecemos desde tempo imemorial, no entanto, duas galáxias que acompanham as noites do céu austral, chamadas de *Nuvens de Magalhães* por ter sido o navegante português Fernão de Magalhães quem as *descobriu* para a cultura europeia, durante sua longa travessia iniciada em 1519. Embora as tenha registrado o astrônomo Abd Al-Rahman Al Sufi no ano de 964 e depois Amerigo Vespucci por volta de 1503. As sociedades estabelecidas na América do Sul antes da chegada dos portugueses as conheciam muito bem. Por exemplo, os guaranies chaman *Bebedouro da anta* e *Bebedouro do porco-do-mato* à Grande Nuvem e Pequena Nuvem respectivamente. A foto na Figura 5.3, tomada por meio de um pequeno telescópio do Observatório Européu Austral (ESO), mostra estas duas pequenas (*anãs*) galáxias irregulares, as mais próximas da Via Láctea a 175.000 e 200.000 anos luz de distancia. Foi na Grande Nuvem que aconteceu em 1987 a última supernova que pôde ser observada a olho nu.

5.1 O qué é uma galáxia?

De forma resumida, as galáxias são uma coleção de estrelas, gás e poeira unidas pela força gravitacional. Devemos incluir também a matéria consistente de objetos frios e sólidos, tais como planetas, asteróides, cometas e planetas menores.

Figura 5.3: Fotografia das Nuvens de Magalhães, batizadas de *Pequena* e *Grande* (Observatório Européu Austral,ESO).

Contudo desconhecemos qual é sua proporção sobre a matéria galáctica total, uma vez que só sabemos o que observamos no sistema solar, onde eles representam menos do 1% da massa (o resto está no Sol). Outros tipos de matéria *escura* são apenas suspeitos e unicamente podemos especular sobre sua origem e propriedades. As galáxias, por outro lado, tendem a se agrupar. A maioria teria se formado no primeiro bilhão de anos do Universo, que tem hoje cerca de 13,7 bilhões de anos. Ou seja, as galáxias são objetos muito antigos e numerosos, como evidenciado pela fotografia da Figura 5.4. Ao observar muitas galáxias a distâncias diferentes, embora tenham quase a mesma idade, estamos observando-as em diferentes momentos da sua evolução. Por exemplo, galáxias do *Grupo Local* são observadas como eram alguns milhões de anos atrás, enquanto a Figura 5.4 mostra um conjunto de galáxias há 12 bilhões.

O estudo das galáxias começa com uma classificação baseada na forma, que deu origem a três tipos básicos: (1) elípticas, (2) espirais e (3) irregulares. As galáxias espirais são ainda subclassificadas entre as que têm barra e as que não têm barra no centro. Exemplos dos três tipos principais são exibidos na figura 5.5. A partir destes tipos Edwin Hubble criou uma classificação morfológica de galáxias conhecida como diagrama diapasão e mostrado na Figura 5.6. Embora a imagem parece mostrar uma evolução temporal de galáxias elípticas para as espirais (o próprio Hubble pensou assim) hoje a evidência observacional contradiz esta hipótese. O esquema, no entanto, continua a ser muito didático, pois permite lembrar todos os tipos facilmente.

Galáxias do tipo **S0** também são conhecidas como *lenticulares*. Elas são caracterizadas por um centro elíptico e um disco de estrelas e poeira. A clas-

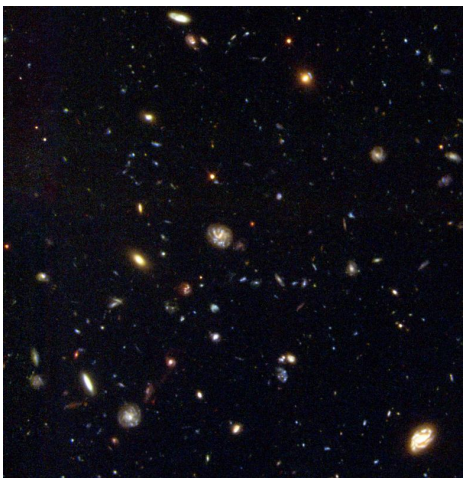


Figura 5.4: Imagem obtida pelo Hubble Space Telescope de um *Campo Profundo* no Hemisfério Sul (Hubble Deep Field South, em inglês), onde se vêem milhares de objetos difusos de formas variadas: são as galáxias, muitas delas observadas como eram há 12 bilhões de anos. (Autores: R. Williams do STScI e o grupo HDF-S de NASA.)

sificação anterior, por outro lado não é completa. Temos ainda as galáxias irregulares, muitas vezes, simbolizadais por **Irr**. Mais importante, as galáxias *peculiares*. A peculiaridade pode estar na forma como no caso das galáxias *antena*, ou na surpreendente emissão do seu núcleo (e, por isso mesmo chamadas de galáxias de *núcleo galáctico ativo* ou *Active Galactic Nuclei* , AGN). No último grupo se destacam os *Quasares*, cujo nome deriva das palavras *Quasi Stelar Object*, objeto quase estelar. Os quasares foram descobertos no final dos anos 50 e estão entre os objetos mais distantes que podemos observar. O mistério envolvendo a origem da energia que liberam e as controvérsias sobre a sua distância (ver, por exemplo *Quasares, Redshifts and Controversies* de H. Arp), os transformou em objetos de culto. Recentemente encontraram uma utilidade inesperada passando a ser um sistema de coordenadas de referência dos satélites GPS. Lembre-se, então, cada vez que pouse em segurança, agradeça a um Quasar.

5.2 Estrelas

Os elementos mais conspícuos das galáxias são as estrelas, são também elas as que marcam os caminhos da sua evolução. Portanto, devemos fazer uma pausa para conhecê-las melhor. Vamos ver primeiramente as características de sua luz. As estrelas não emitem a mesma intensidade para todas as cores. Em astrofísica falamos de *comprimento de onda* , representada com a letra grega lambda (λ), em vez de cor. O comprimento de onda é um conceito mais amplo do que a cor; na verdade, existem vários comprimentos de onda em que não podemos atribuir qualquer cor, porque esta última é definida pelo olho humano, que detecta apenas uma pequena gama de comprimentos de onda.

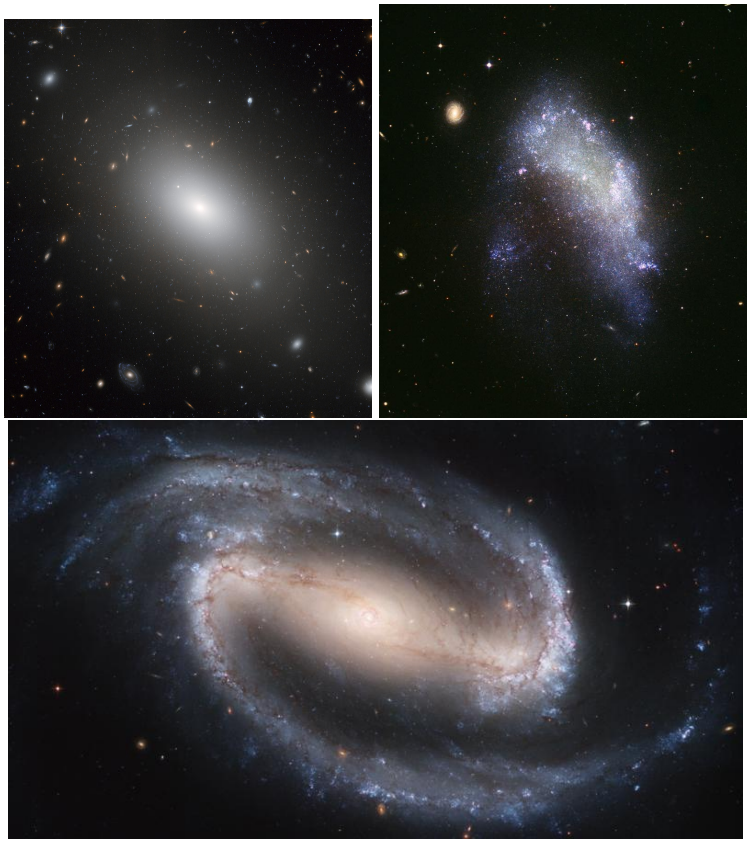


Figura 5.5: Esquerda: Galáxia elíptica NGC 1132 (STScI e NASA), Direita: Galáxia irregular 1427A (STScI e NASA) Abaixo: Galáxia espiral com barra NGC 1300 (STScI e NASA)

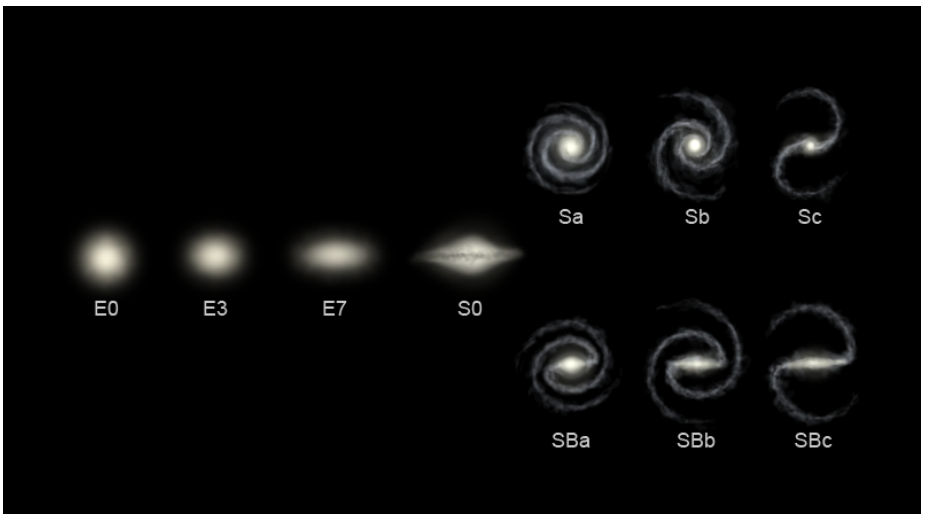


Figura 5.6: Esquema diapasão da classificação de galáxias inventado por Edwin Hubble em 1929. As galáxias espirais com barra são chamadas **SB**, as que não têm barra simplesmente **S**, as elípticas **E**. A subclassificação entre as elípticas (0 a 7) corresponde ao grau de elipticidade. No caso das **SB** e **S**, três subtipos básicos são definidos **a**, **b** e **c** que indicam qualitativamente a abertura dos braços. (Fonte Wikipedia, acesso em 02/04/2010).

A luz visível (ao olho humano) tem λ muito pequeno, entre 400 nm (ultra violeta) e 800 nm (infravermelho próximo), algumas pessoas conseguem ver mais, outras menos. A Figura 5.7 é um esquema do espectro eletromagnético (luz), variando dos raios-X às ondas de rádio kilometricas. Como pode ser apreciado, a janela visível é muito pequena.

Alguém poderia dizer que é melhor observar as estrelas em ondas de rádio porque parece ter mais informações. Mas as estrelas emitem muito pouca energia nesta banda, e assim é difícil observá-las a grandes distâncias. Globalmente, o espectro de uma estrela corresponde ao de um corpo negro[1], entidade teórica que não tem nada de preto e pode ser muito brilhante. A forma mais detalhada de se estudar uma estrela é por meio de espectros. No entanto, podemos obter informação muito útil se usarmos filtros *passa-banda* , elementos óticos desenhados para deixar passar a luz em um determinado intervalo do espectro. Usando observações de diferentes filtros pode ser montado uma espécie de espectro segmentado. Entre os muitos esquemas de filtros, o mais famoso é o chamado **UBVRI** descrito na tabela abaixo

[1] ler o Apêndice *Radiação de Corpo Negro*

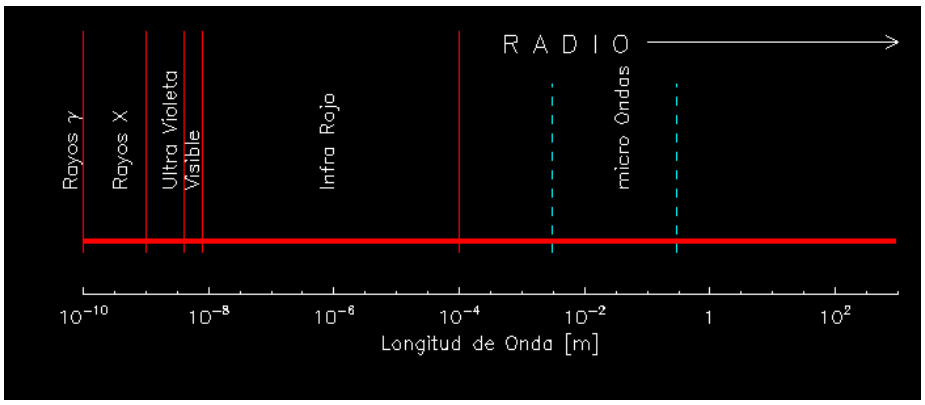


Figura 5.7: Representação do espectro electromagnético (luz).

Símbolo	**Banda**	λ **Central [nm]**
U	Ultra Violeta	396
B	Azul	433
V	Visível	547
R	Vermelho	640
I	Infra-vermelho	790

A luminosidade de uma estrela se transforma em um número que nós chamamos **magnitude** . Este número pode ser negativo ou positivo, a coisa mais importante é que é **menor** para luminosidades maiores, o que a priori parece sem sentido. A razão para isso é histórica como muitas outras decisões em astronomia. A definição precisa da magnitude m é

$$m = -2,5 \log(L/L_\circ)$$

onde $L_\circ$ é uma luminosidade de referência. Se medimos a magnitude de uma estrela usando diferentes filtros, iremos obter valores diferentes para cada um deles, porque o brilho da estrela depende do comprimento de onda, como demonstrado pela lei de Planck. Quando nos referimos à magnitude de uma *cor* (obtida através de um filtro), usamos o símbolo do filtro diretamente, por exemplo, U = 2,3 e B = 2,6 são as magnitudes de uma estrela no ultravioleta e azul, respectivamente. Uma estrela *quente* emite mais no UV, sua luminosidade é maior nessa faixa e, portanto, **menor a magnitude U** que a magnitude do azul **B**. Em outras palavras, U-B será negativo. O oposto acontece com as *estrelas frias*. A diferença de magnitude entre duas cores consecutivas (U-B, B-V, etc) é chamado de *índice de cor* e é um parâmetro utilizado para classificar uma estrela.

No início do século XX, dois astrônomos elaboraram um dos diagramas mais importantes para compreender a evolução de estrelas usando apenas o índice de cor. Ejnar Hertzsprung (1873 - 1967) astrônomo dinamarquês e Henry Norris Russell (1877 - 1957) dos EUA, colocaram em um diagrama o índice de cor no eixo das abscissas e a magnitude absoluta nas ordenadas. Em outras palavras, fizeram um diagrama do brilho em função da temperatura. Um exemplo deste diagrama pode ser visto no seguinte link: `http://www.atlasoftheuniverse.`

`com/hr.html`, onde foram utilizadas mais de 20.000 estrelas. A curva mais longa em diagonal da esquerda para a direita é chamada de **sequência principal**. Uma estrela passa a maior parte de sua vida dentro dela *em um único local que não muda no tempo*. Durante este período, a estrela vai consumir todo o hidrogênio disponível no seu núcleo. Quando terminar, inicia a combustão do hélio, e deixa a sequência principal. Estrelas *gigantes* são aquelas cujo raio é maior do que o de uma da sequência principal à mesma temperatura. Normalmente, as estrelas aumentam de tamanho ao sair da seqüência principal, o que as torna mais brilhantes. O oposto ocorre com *anãs brancas* , que encolhem tanto que, apesar de serem bastante quentes, o seu brilho é muito fraco. As anãs brancas são também um estágio final de uma estrela que colapsou, encolheu mantendo uma massa similar à do Sol, mas com um raio semelhante ao da Terra.

A evolução de uma estrela pode ser resumida da seguinte forma: a estrela é criada juntamente com muitas outras a partir de uma nuvem de gás e poeira da galáxia. Enquanto colapsa o gás, aumenta a temperatura interna até que começam as reações de fusão. Quando começa a queima do hidrogênio a estrela entra na sequência principal, onde permanecerá a maior parte de sua vida. Ao esgotar o hidrogênio central, dá início a fusão do hélio. A evolução a partir daqui vai depender muito do tipo de estrela podendo aumentar o seu raio (e se tornar uma gigante), colapsar (tornando-se uma anã branca) ou explodir (supernova), deixando como resíduo uma estrela de prótons, ou mesmo um buraco negro. A coisa importante a lembrar aqui é que as estrelas mais quentes, de cor azul, passam por esses estágios muito rapidamente, porque o processo de fusão envolvido (chamado de ciclo CNO) é mais eficiente que o realizado em estrelas frias (chamado ciclo p–p). Uma estrela quente é chamada de *jovem* , porque a sua vida não excede os 10 milhões de anos. Estrelas *frias* (como o Sol) podem viver mais de 10 bilhões de anos. As estrelas azuis (jovens, quentes) são as que povoam os céus em abundância, não porque sejam muitas, mas porque o seu brilho é muito intenso. De fato, da nuvem de gás original apenas uma pequena fração é destinada a formá-las. Regiões onde existem estrelas azuis indicam formação estelar recente (milhões de anos); pelo contrário, as regiões povoadas de estrelas gigantes vermelhas parecem mais com cemitérios, onde a dinâmica estelar está em declínio.

5.3 Gás

Além de estrelas, as galáxias são formadas por gás e poeira, em conjunto chamados de *Meio Interestelar* ou simplesmente **MI** . Por ser o hidrogênio o elemento mais abundante do universo, a sua emissão é mais intensa. O hidrogênio neutro, simbolizado por **H** I, produz uma linha espectral na freqüência 1.420 MHz, que é a base dos estudos de distribuição de gás em qualquer galáxia. A linha de 1420 MHz é criada pela transição **up** para **down** (ou vice-versa) do spin eletrônico do H. Quando é paralelo ao spin do próton, o estado do átomo é um pouco mais energético, enquanto que quando são antiparalelos, é um estado de menor energia. O átomo de **H** I pode atingir um nível excitado através de um agente externo, e permanecer ali por muito tempo (medido em milhões de

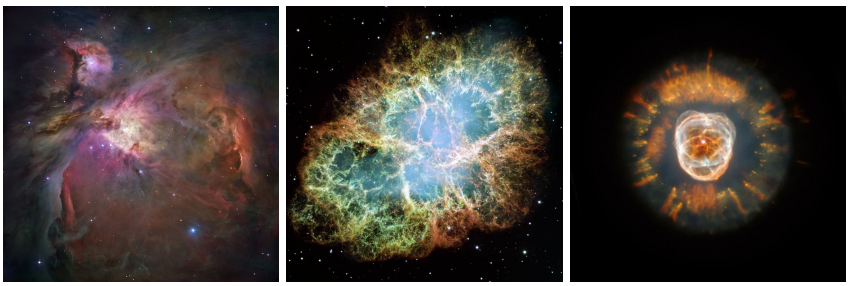


Figura 5.8: Esquerda: Região **H** II: Nebulosa de Órion. (STScI, NASA e ESA) centro: Remanescente de Supernova: Nebulosa do Caranguejo, (NASA e ESA, créditos: J. Hester e A. Loll) Direita: Nebulosa Planetária: NGC 2392 *esquimo* (STScI e NASA. Créditos para Andrew Fruchter, Sylvia Baggett, Richard Hook e Zoltan Levay)

anos) porque é um *estado metaestável* . Quando ele relaxa, emite um fóton na frequência de 1.420 MHz As nuvens de **H** I têm temperaturas aproximadas de até 100 K e densidades em torno de 100 cm^{-3} (partículas por cm cúbico). Para uma referência, no nível do mar, a atmosfera da Terra tem 10^{20} cm^{-3}. Através da observação da linha de 1420 MHz do **H** I podemos conhecer *a velocidade radial* do Gás, ou velocidade de aproximação ou recessão, usando o efeito de Doppler. Nuvens de gás podem ser mais frias, nesse caso estarão compostas de gás molecular, com a molécula de hidrogênio, H_2 a mais abundante. Estas moléculas emitem quando são excitadas a estados de rotação.

Se houver uma fonte de luz ultravioleta intensa, como estrelas *quentes*, o hidrogênio pode perder um elétron e se tornar ionizado (também pode ser ionizado por colisões com outros elétrons). Neste caso, o simbolizamos **H** II ou $\mathbf{H}^+$. Nuvens de **H** II também são chamadas de nebulosas gasosas. Existem diferentes tipos de nebulosas gasosas: (1) Regiões **H** II (2) Remanescentes de Supernovas e (3) nebulosas planetárias. Exemplos dos três tipos são mostrados nas fotos da figura 5.8.

Nas **H** II há uma intensa formação de estrelas com forte emissão de UV, este é o caso da Nebulosa de Órion. A luz UV ioniza o gás em torno da estrela, quando o elétron é recapturado (*recombinado*) um fóton em frequência mais baixa é emitido, como por exemplo Hα (653,5 nm). As remanescentes de supernova são formadas por nuvens de gás de uma estrela que explodiu misturado com o MI. Neste caso não existe uma fonte de ionização, apenas a energia mecânica liberada pela explosão, que faz com que as partículas principalmente elétrons, ionizem o gás que está em seu entorno enquanto se expande. A Nebulosa do Caranguejo, produzida pela explosão de uma supernova que ocorreu em 1054, é um exemplo típico. O último tipo de nebulosa ionizada é representado pelas chamadas Nebulosas Planetárias. É o gás expulso por uma estrela antes de entrar na fase de anã branca, misturado com gás do MI. Anãs brancas são estrelas muito quentes, com temperaturas de superfície de cerca de 10.000 K (podendo chegar até 150.000 K) e portanto, produzem muitos fótons UV que excitam a nebulosa circundante. (O nome de *planetária* não tem nenhuma relação com

planetas, simplesmente que as primeiras descobertas davam impressão de planeta gasoso como Júpiter.)

5.4 Distribuição da matéria

Agora que conhecemos os elementos de uma galáxia, nós queremos saber como eles são distribuídos. As galáxias são tipicamente formadas por três regiões distintas:

O Núcleo é a parte central de toda galáxia. Tem uma forma aproximadamente esférica e uma extensão de 10 a 20% do ráio da galáxia. Em geral é de cor avermelhada, indicando que está populado por gigantes vermelhas, estrelas *velhas*, também chamadas de *População II* pelo astrônomo alemão Walter Baade. Uma grande quantidade de poeira a torna mais vermelha ainda, ao absorver a luz *azul* e reemiti-la em frequências mais baixas. Estas nuvens de poeira impedem também que possamos ver com clareza o centro. Para podermos nos aproximar, devemos usar ondas de maior comprimento, por exemplo, infra vermelho, ou rádio. Técnicas rádio-astronômicas como Interferometria de Muito Longa Base (VLBI em inglês) e telescópios em órbita como o Spitzer ou o Herschel estão ajudando a conhecer estas regões *escuras*.

O Disco fica em torno do núcleo, pode ter uma forma circular ou elíptica e sua espessura é muito inferior ao seu raio. Para se ter uma idéia: na Via Láctea, o disco tem uma largura de 2000 parsecs (baseada na distribuição de **H** I, enquanto o raio é superior a 20 mil parsecs. O disco de galáxias espirais muitas vezes tem um tom azulado, devido principalmente a *estrelas jovens* que estão em constante formação. Misturados com elas há nuvens de gás e pó de cor vermelha ou escura. Em galáxias espirais, com uma menor taxa de formação de estrelas, a coloração geralmente é avermelhada. Estrelas do Disco são muitas vezes chamadas de *População I*.

O Halo de uma galáxia é composto de aglomerados de estrelas muito antigos, com distribuição esférica em uma área tão grande quanto o disco.

A julgar pelas observações de estrelas e gás neutro, a maior parte do material se concentra no núcleo de uma galáxia. Esta observação está em desacordo com as *curvas de rotação* galácticas. Como já mencionamos, o gás e as estrelas giram em torno de um centro comum. Sua dinâmica é regida pela lei da gravitação, e por isso é que nós esperamos o aumento da velocidade do centro até um determinado ponto e, em seguida, a diminuição. O aumento acontece porque o sistema gira como um sólido, com velocidade angular constante, consequentemente, sua velocidade tangencial é proporcional ao raio de giro

$$v = \omega \times R$$

onde v é a velocidade tangencial, ω a velocidade angular e R a distância ao centro de rotação. Um esquema da relação esperada é mostrada no figura 5.9.

A maioria das galáxias, entretanto, mostram uma relação bem diferente, tal como a do esquema da Figura 5.9 a direita. Duas interpretações podem ser

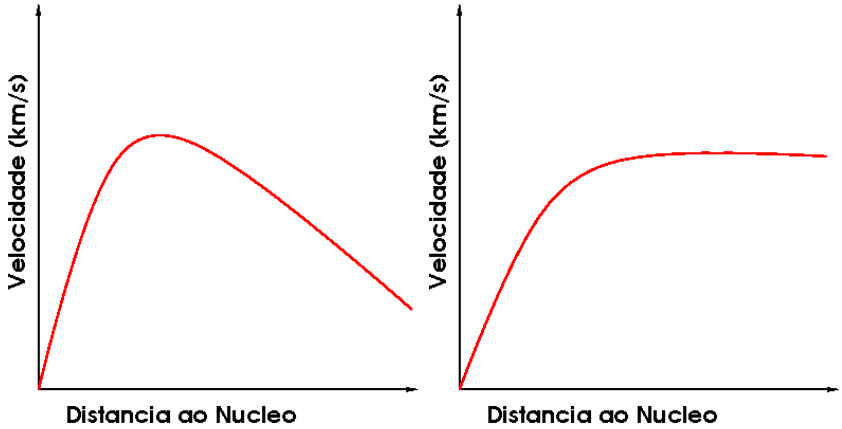


Figura 5.9: Esquerda:Esquema da relação esperada entre velocidade de rotação e distância ao núcleo se a matéria se encontra concentrada no centro. Esquema da relação esperada entre velocidade de rotação e distância ao núcleo observada na maioria das galáxias, incluindo a Via Láctea.

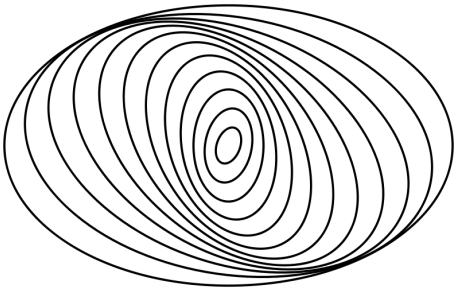


Figura 5.10: Esquema das ondas de densidade numa galáxia espiral. As regiões mais escuras (de maior densidade) é onde se forma um braço. (Wikipedia Commons)

consideradas: ou bem a teoria da gravitação não é completa (por exemplo, em escalas galácticas existem outros termos), ou há coisas que não podemos ver, que não interagem com as ondas eletromagnéticas: **a matéria escura**. Por diferentes razões, admite-se que a solução está na matéria escura, diferente de tudo o que conhecemos, só podemos inferi-la e todas as suas características são desconhecidas para nós.

Um dos maiores mistérios das galáxias espirais é a origem de seus braços. Pela observação, sabemos que as galáxias devem ter completado mais de 100 giros desde sua formação. Isso deve criar braços 100 vezes "enrolados", o que contradiz a simples inspeção. O mistério foi resolvido nos anos 60 assumindo que os braços são *ondas de densidade* . A ideia é que o movimento elíptico não é uniforme, e a *fase* (ângulo) de cada elipse depende da distância ao centro. Um esquema pode ser visto na figura 5.10.

Muitos astrônomos concluíram que no centro de muitas galáxias, incluindo a nossa, há um *Buraco Negro*. Chegaram a esta conclusão pela observação do movimento do gás e das estrelas do ambiente. No entanto, precisamos desmistificar os buracos negros. Eles não são absorvedores de tudo: somente dentro do chamado raio de Schwarzschild toda a matéria e a luz é impedida de escapar. De forma abreviada, são uma *singularidade matemática* produto do colapso da matéria por causa da atração gravitacional. Todas as estrelas estão em um equilíbrio entre a atração gravitacional e a repulsão criada pela pressão termodinâmica. Quando esta última cede, há poucos mecanismos para impedir o colapso, alguns deles puramente quânticos como o Princípio de Exclusão de Pauli. No entanto, se essas derradeiras barreiras não forem suficientes, o buraco negro é formado. Muitas vezes, ocorrem depois de uma explosão de supernova. Nesses casos, a massa não é muito maior da que o do Sol. Porém, nos núcleos das galáxias formam-se *buracos negros supermassivos* com massas de milhões de sóis.

5.5 Galáxias de Núcleo Ativo (*AGN*)

Algumas galáxias têm uma emissão muito forte, muito maior do que as demais, em geral em freqüências não visíveis como o ultra-violeta ou infra-vermelho. Acreditamos hoje que elas têm um buraco negro supermassivo que gera um *disco de acreção*, que é responsável pela radiação observada. Estas galáxias são chamadas de forma geral de *Galáxias de Núcleo Ativo* abreviado por suas iniciais em inglês **AGN** (*Active Galactic Nuclei*). Membros desta classe são as *Rádio Galáxias*, as galáxias tipo *Seyfert* e *BL-Lac* e os *Quasares*, os mais famosos, assim chamados porque são *quasi stellar objects* (objetos quase estelares). O núcleo de uma AGN também tem um campo magnético muito intenso. A interação da matéria caindo no buraco negro e o campo magnético produz jatos de partículas perpendiculares ao disco de acreção (que é paralelo ao disco galáctico). Exemplos de AGN podem ser vistos na figura 5.11.

A massa do buraco negro central de alguns quasares é da ordem de 10^9 $M_\odot$ (massas solares), isto é, não muito diferente da massa de toda a Via Láctea, que por sua vez tem um modesto buraco negro de pouco mais de 10^6 $M_\odot$. Na verdade a Via Láctea está longe de ter características de AGN. Uma visão geral esquemática deste tipo particular de galáxias pode ser visto na Figura 5.12. Hoje existe a idéia de que os AGN são objetos com as mesmas características, mudando apenas a orientação relativa a nós. Por exemplo, se o jato está apontando para a Terra, ou se vemos o disco de acreção de lado.

5.6 A Via Láctea

A galáxia na que se localiza o sistema solar, chamada *Via Láctea*, pode ser classificada como uma espiral com barra (Sb). Seu diâmetro é em torno de 30 kpc (quiloparsecs), enquanto que a espessura de seu disco é menor que 1 kpc. O núcleo da Galáxia é um elipsoide de aprox. $3,4 \times 1,8$ kpc. Por último o halo da Via Láctea possui em torno de 200 aglomerados globulares distribuídos

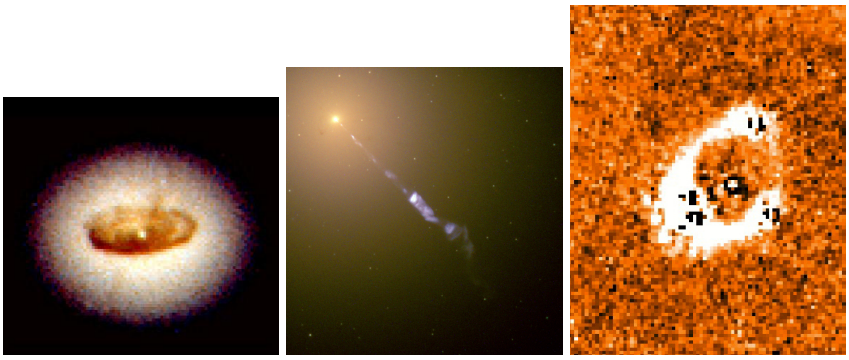


Figura 5.11: Esquerda: Núcleo de NGC4261, com o disco de acreção em torno do Buraco Negro (STScI, NASA, Créditos para Leo Ferrarese) Centro: Jato de partículas lançado pelo núcleo da Rádio Galáxia M87 (STScI) Direita: Anel infra-vermelho em torno do Quasar PG 1115+080. (STScI, Crédito para Christopher D. Impey, University of Arizona)

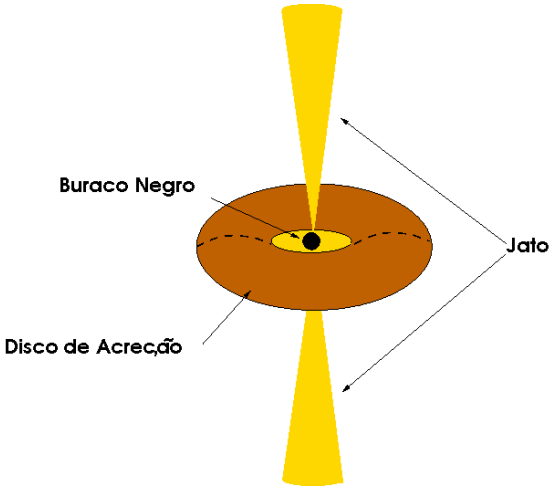


Figura 5.12: Esquema da região central de um AGN. No centro o buraco negro supermassivo. Em torno do mesmo, o disco de acreção. Perpendicular ao plano de acreção (que é também o plano do disco galáctico) vêem-se os jatos de partículas.

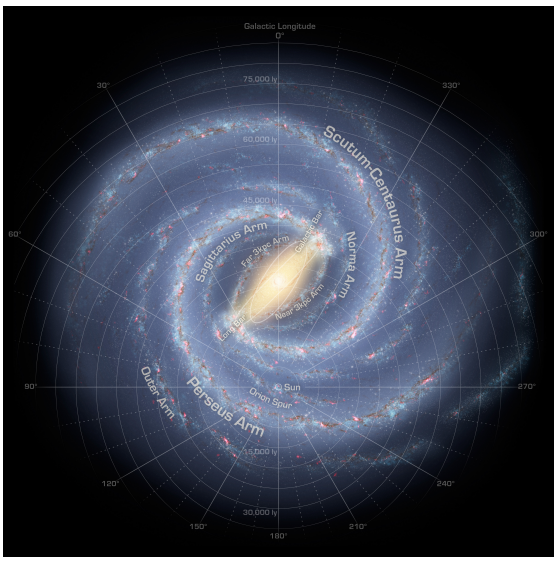


Figura 5.13: Concepção artística da Via Láctea com sua estrutura espiral, seus braços principais e a barra central. (Fonte: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt, acesso em 28/08/2011)

esfericamente por fora do núcleo até os 50 kpc. As estrelas da Via Láctea são divididas en dois grupos, chamados de *população I* e *população II* . No primeiro caso trata-se de estrelas *jovens* formadas no disco e no núcleo galáticos. Estrelas de população II encontram-se principalmente nos aglomerados globulares do halo embora também nas entranhas do núcleo e são os objetos mais velhos da Galáxia, tão antiguos como a própria Via Láctea e o Universo. Interpreta-se que a formação estelar não cessou no disco nem no núcleo, por esse motivo encontramos estrelas jovens. O sistema solar localiza-se sobre o disco a uma distância de 8 kpc do centro galático no chamado *braço de Órion* . Demora mais de 200 milhões de anos em dar uma volta inteira em torno ao centro galático.

O Centro Galáctico (CG) encontra-se na constelação de Sagitário. É difícil observá-lo com telescopios ópticos por causa da poeira e o gás que há em sua direção e que absorvem a maior parte da luz visível. Pode, no entanto, ser examinado por meio de ondas de rádio ou no infra-vermelho. Por meio destes comprimentos de onda aprendimos que existe uma fonte emissora bastante intensa batizada de Sgr A*. A medida que as observações foram aprimoradas pôde-se comprovar que a mesma é muito compacta e que a emissão vem de uma região de 15 UA (Unidades Astronômicas) de tamanho, semelhante com a órbita do planeta Saturno. Pôde-se determinar também que na região do CG há uma massa equivalente a 2,5 milhões de sois. A conclusão é que Sgr A* é um buraco negro, e o disco de acreção é a origem da intensa radiação observada. Embora nunca foi observado um jato do CG, no amo 2001, o satélite de observações em raios X Chandra, detectou uma *explosão* (ouburst em inglês) de uma duración de três horas.

A Via Láctea forma um sistema binário com a galáxia de Andrómeda, as

masas de ambas são parecidas, e tem duas pequenas galáxias irregulares orbitando em torno de si, chamadas de Nuvens de Magalhães Maior e Menor.

5.7 Uma Bibliografia Básica

A seguir uma lista de livros e que foram consultados para escrever este capítulo.

Arp, H., *Quasars, Redshifts and Controversies*, Interstellar media, Berkeley (EEUU), ISBN: 0941325008, (1987)

Elmegreen, D. M., *Galaxies & Galatic Structure*, Prentice Hall, New Jersey (EEUU), ISBN: 0137792328 (1998)

Osterbrock, D. E., *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active gacatic Nuclei*, University Science Books, California (EUA), ISBN: 0935702229, (1989)

Capítulo 6

Nada de novo debaixo do Sol

6.1 O *calmo* Sol

O Sol é uma estrela. Não devemos esquecer isto no momento de estuda-lo. Sua proximidade nos fez pensar por séculos que se tratava de um objeto único. Todas as sociedades antigas tiveram alguna forma de adoração solar porque reconheciam que era a fonte de energia, bem-estar e alimentação. E não se enganavam. Por isso resulta um pouco decepcionante a forma em que a contemporaneidade, de certa maneira, deu de costas para ele. De ser o centro do Universo passou a ser um objeto mais na paisagem.

O Sol em números

Distância	149.597.870 km (1 UA)
Raio	695.510 km
	(109 raios terrestres)
Massa	$1,989 \times 10^{30}$ kg
	(332.946 massas terrestres)
Volume	$1,412 \times 10^{27}$ m^3
	(1,3 milhões de Terras)
Ac. gravidade	274 m s^{-2} (na superficie)
Densidade	
Central	151.300 kg m^{-3}
	(densidade da água = 1.000 kg m^{-3})
Média	1.409 kg m^{-3}
Pressão	
Central	$2,334 \times 10^{14}$ hPa
	(1 atm = 1.013 hPa)
Fotosfera	0,1 hPa
Temperatura	
Central	$1,5 \times 10^7$ K
Fotosfera	5.780 K
Coroa	$(2-3) \times 10^6$ K
Luminosidade	$3,854 \times 10^{26}$ W
Constante Solar	1.368 W m^{-2}
Composição	(em número)
Hidrogênio	92,1%
Hélio	7,8 %
Demais	0,1 %

Bibliografia

Lang, K. , *The Sun*, em *The New Solar System*, Ed.: Beatty, J.K, Petersen, C.C, Chaikin, A., 4ta edição, Sky Publishing Corp., e Cambridge University Press, (1999)

Stix,M., *The Sun, an introduction*, Ed.: Springer, (2002)

Fazendo números, no Sol se concentra mais de 99% de toda a matéria do Sistema Solar. Irradia $3,846 \times 10^{26}$ W de energia, quantidade impensável, incomparável com qualquer parâmetro humano. Supondo que o arsenal de bombas nucleares remanescente é de 10.000 Mega-Tons (equivalentes a 10^{19} J) significa que a cada segundo o Sol libera a energía de **10 milhões de arsenais nucleares terrestres!** *A cada segundo...*

Toda a energia que usamos na Terra vem de forma direta ou indireta, da energia liberada pelo Sol. Os combustíveis fósseis, que representam a forma mais importante de geração de energia atualmente, são produtos derivados da fotossíntese, processo que usa a energia solar. Seria muito conveniente desde todo ponto de vista que pudéssemos captar a energia do Sol de forma direta para o nosso uso. Mas até agora não se encontrou uma forma eficiente de fazê-lo.

Nosso Sol é uma estrela comum, foi dito. Em termos *espectrais* é classificado como **G2V** , uma estrela *anã* da seqüência principal. A 10 pc de distância seria uma estrela fraca, dificilmente perceptível nas luminosas noites de nossas cidades modernas. De ser uma estrela *única* , passou a ser *medíocre* , uma mais entre muitas outras. Hoje estamos redescobrindo que talvez o Sol seja, dentro de sua classe, uma exceção[1]. Em qualquer caso, a *mediocridade* do Sol lhe permitiu ser uma estrela muito estável em sua história de mais de quatro bilhões e meio de anos. Não significa isso que sempre foi igual (por exemplo quando entrou na *seqüência principal* emitia 30% mais de energia que agora) mas as mudanças não foram violentas, o que favoreceu seguramente a evolução da vida na Terra.

Tanta regularidade levou a acreditar que o Sol não sofria mudanças e era portanto *imaculado* como o resto dos objetos celestes. A visão aristotélica de

[1] Uma explicação pode ser vista em: `http://torino0-port.blogspot.com/2009/03/o-nosso-mediocre-sol`

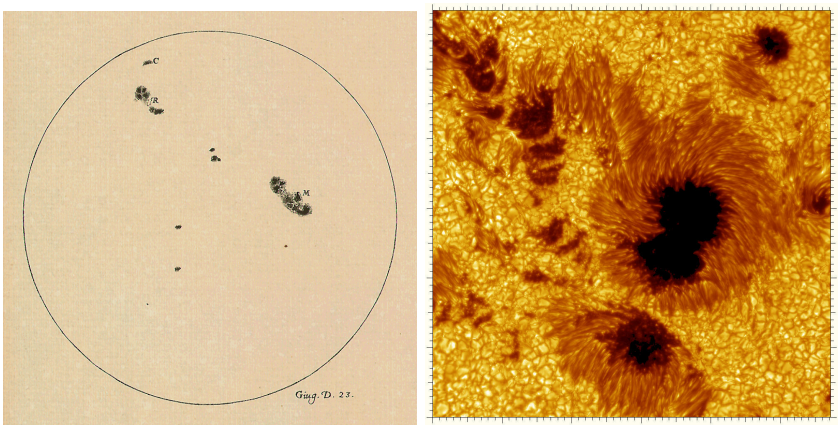


Figura 6.1: Esquerda: Desenho realizado por Galileu mostrando as manchas sobre a superfície do Sol, extraido de *The Galileo Project*. Direita: Foto de manchas solares observadas com filtro Hα com o telescópio solar sueco.

um céu imaterial, ou melhor, formado por uma matéria inexistente na Terra, a *quintessencia* , se prolongou por quase dois mil anos. Por volta de 1607 um sistema de lentes engenhosamente colocados dentro de um tubo, desenvolvido por três holandeses (Hans Lippershey, Zacharias Janssen e Jacob Metius) permitiu aumentar o tamanho aparente dos objetos distantes. Dois anos depois, o sábio Galileu Galilei, (1564 - 1642) natural de Pisa embora radicado nesse momento em Pádua, melhorou o sistema e apontou para os astros inaugurando a era astronômica moderna. Na primavera de 1610 observou o Sol (para isso projetou a imagem sobre uma tela branca) e apresentou suas descobertas a uns incrédulos homens de fé e outros letrados, dentre eles o Padre Fulgenzio Micanzio. Para surpresa dos presentes o Sol não era *imaculado* , pelo contrário mostrava manchas, pequenas áreas escuras com formas mais ou menos circulares, distribuidas em grupos. Embora existem evidências de que outras pessoas já tinham observado as manchas solares, o fato de que agora se tratara de Galileu, no centro da Igreja Católica, e que estas observações pudessem se fazer de maneira rotineira, deram ao descobrimento uma transcendência única. Os céus não eram *puros*. Poucos meses depois Galileu iria morar em Florença, ou, mais corretamente em Arcetri de onde continuaria a observar o Sol dia após dia levantando uma estatística das manchas solares, uma atividade de grande transcendência, como veremos depois. A imagem da Figura 6.1 a esquerda é um desenho de punho de Galileu, a partir de uma observação realizada em junho de 1613. Depois do telescópio, nunca mais os céus voltariam a ser o que foram. As manchas solares continuam sendo objeto de análise, como mostra a foto da figura 6.1 a direita obtida com o moderníssimo telescópio Swedish Solar Telescope.

6.2 O ciclo solar

Apesar da excitação pela descoberta de manchas no Sol, pouco tempo depois, as observações rotineiras começaram a diminuir. Até o Galileu perdeu o interesse

e as abandonou pouco depois de 1613. Ao mesmo tempo o Sol começou a dar mostras de *cansaço* e deixou de apresentar manchas na mesma quantidade das primeiras observações galileanas. Com esporádicos observadores e esporádicas aparições de manchas transcorreu o século XVII. Na alvorada do seguinte século, em 27 de dezembro de 1705, Stephen Gray de Canterbury (RU), observou um *flash* de luz perto de uma mancha no que seria o primeiro registro de uma fulguração (também chamada explosão solar, e em inglês *flare*). No entanto só em 1859 se daria suficiente importância ao fenômeno. Aos poucos as manchas foram retornando ao Sol e assim também seus observadores. Junto com elas os investigadores começaram a buscar:

1. Periodicidade na aparição das manchas

2. Vínculo com outros fenômenos, principalmente terrestres

Não foi fácil o primeiro, tivemos de esperar até bem entrado o século XIX, quando o alemão Heinrich Schwabe, nascido em Dessau, descobriu que o número de manchas na superfície do Sol varia com um periodo de 10 anos. Ele precisou 17 anos de observações acuradas, entre 1826 e 1843, e uma busca nos relatos de anteriores observadores, para chegar a esta conclusão. Isto porque não é um fenômeno tão óbvio como poderia parecer. As manchas aparecem em grupos, e é difícil contá-las dentro destes grupos. Por isso foi importante que o suiço Rudolf Wolf, nascido em Zürich, também observador do Sol por décadas, definisse um índice conhecico como *Índice de Manchas Solares*, *de Wolf* ou *de Zürich*. (En inglês é chamado de *sunspot number* e muitas vezes traduzido como *número de manchas*, o que confunde.) Para achar o valor do índice SN se aplica a seguinte fórmula:

$$SN = (10G + N) \times k \ ,$$

onde G é o número de grupos de manchas e N é o número de manchas individuais. O fator k se utiliza para padronizar as observações de diferentes observatórios. O fato de multiplicar por 10 o número de grupos ajuda a ver a variação do número de manchas e essa foi a grande contribuição de Wolf. Também ele percebeu que o valor médio do ciclo é de 11,11 anos, corrigindo a primeira estimativa de Schwabe, e que há ciclos com duração de 7 e outros de 14 anos.

Com a descoberta de Schwabe começou-se a falar em **Ciclo Solar** (ou de Schwabe). No século XX George Ellery Hale mostraria que nas manchas solares o campo magnético é centenas de vezes maior que o campo médio do Sol, comprovou-se também que o campo global do Sol se inverte com cada ciclo solar, ou seja que em dois ciclos o pólo norte magnético volta a coincidir com o pólo norte geográfico. Quer dizer que o **ciclo magnético** tem o dobro de duração que o ciclo de manchas ou de Schwabe.

Ao mesmo tempo que se descobria o ciclo solar, também perceberam os cientistas que quando aumentava o número de manchas, também aumentava a aparição de *auroras polares* . Isto foi uma indicação de que existe uma conexão entre a atividade solar e fenômenos atmosféricos terrestres. Na minha experiência pessoal posso dizer que foi numa aula de Economia Política, durante o último ano do colegial, quando escutei falar sobre este tema pela primeira vez.

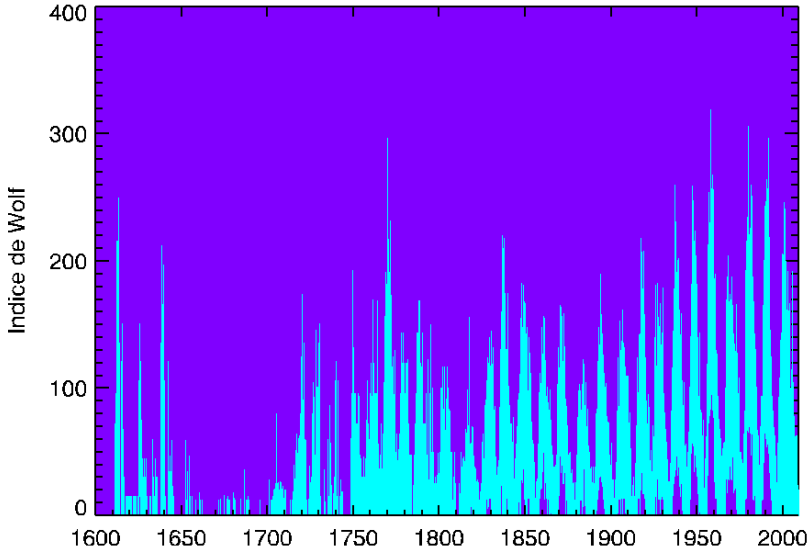


Figura 6.2: Índice de manchas solares ou de Wolf *SN* em função do tempo incluindo as observações de Galileu até março de 2009.

O professor mencionou o célebre tratado do economista escocês Adam Smith, *A Riqueza das Nações* (1776), quem comenta que o preço do trigo aumenta e diminui num ciclo de 11 anos produzido pelas variações da atividade solar que melhora ou piora a agricultura. Quem apresentou por primeira vez esta ideia foi Wilhelm Herschel (1738 - 1822), astrônomo alemão trabalhando em Inglaterra. Muitos anos depois encontrei alguns trabalhos tentando demonstrar esta relação que, de forma alguma é evidente.

No entanto, existe um fato que deve chamar nossa atenção. Olhando o gráfico do índice de manchas, registram-se valores muito pequenos entre 1640 e 1715. Este fato, que comentamos ao começo deste capítulo, é conhecido como **Mínimo de Maunder** , uma homenagem a Annie e Walter Maunder, astrônomos ingleses embora quem originalmente o percebeu foi o astrônomo alemão Gustav Spörer. Este período coincide parcialmente com a chamada *Pequena Idade de Gelo* quando as temperaturas globais cairam até 0,8° C e convertiu os invernos da Europa nos mais frios dos últimos séculos, incluindo o congelamento de rios como o Sena em Paris e o Tamisa em Londres. No gráfico da Figura 6.3 vemos várias reconstruções da temperatura global no passado recente. Chamamos a atenção para a variação negativa no período entre 1500 e 1800 aproximadamente.

6.3 A Atmosfera solar

Parece um pouco estranho falar em *atmosfera* quando sabemos que o Sol é puro gás. Ao final de contas a palavra atmosfera significa *esfera de vapor ou ar* . No

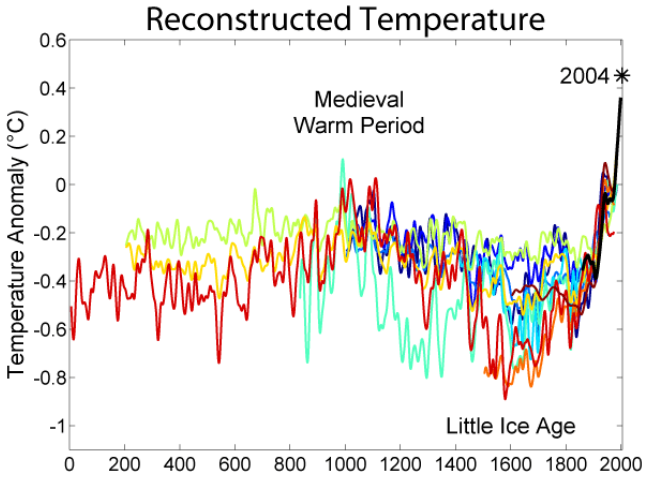


Figura 6.3: Reconstruções da temperatura global no passado recente. Observar a variação negativa de até 0,8° C coincidente com o Mínimo de Maunder. A explicação completa desta figura incluindo a origem dos dados está em Wikipedia Commons:`http://en.wikipedia.org/wiki/File:2000_Year_Temperature_Comparison.png`

entanto podemos generalizar a expressão e pensar que atmosfera refere-se àquela camada que pode ser atravessada pela luz. E isso é o que acontece na atmosfera solar, a luz passa através dela e podemos ver os detalhes e estuturas. A medida que entramos nela, chegamos a um lugar cuja luz é completamente absorvida, desde ali, para o centro do Sol falamos em *interior* e sua composição e estrutura são apenas conhecidos por meio de técnicas indiretas como a *helioseismologia*. Na Figura 6.4 vemos as três zonas em que se divide o interior solar: o *núcleo*, onde acontecem as reações termonucleares que são a fonte da energia do Sol, a região *radiativa* e por último a região *convectiva* .

6.3.1 Fotosfera

A energia criada no núcleo percorre um longo trajeto até chegar à superfície. Podemos estimar o tempo que precisa para sair à superfície em 10^{11} segundos ou seja, varios milhares de anos. Ali, numa fina camada de 500 km de espessura, é produzida a *luz branca* que chega até nós e é portanto a região que vemos ao olhar sem utilizar filtros ou detectores fora da faixa visível por nossos olhos. Esta camada recebe o nome de *Fotosfera*, em sua base a temperatura é de aproximadamente 8.000 K, e decai até os 4.500 K. Duas estruturas destacam-se nela, as *manchas* , das que falamos tanto já e os *grânulos*.

Os grânulos são uma manifestação da região convectiva, são pequenas regiões brilhantes com contornos escuros, muitas vezes interligadas entre si. Foram observados pela primeira vez por Wilhelm Herschel, James Nasmyth e Angelo Secchi no século XIX. A distância média entre centros de grânulos contiguos é de aproximadamente 1.400 km, no entanto o diâmetro pode ser sig-

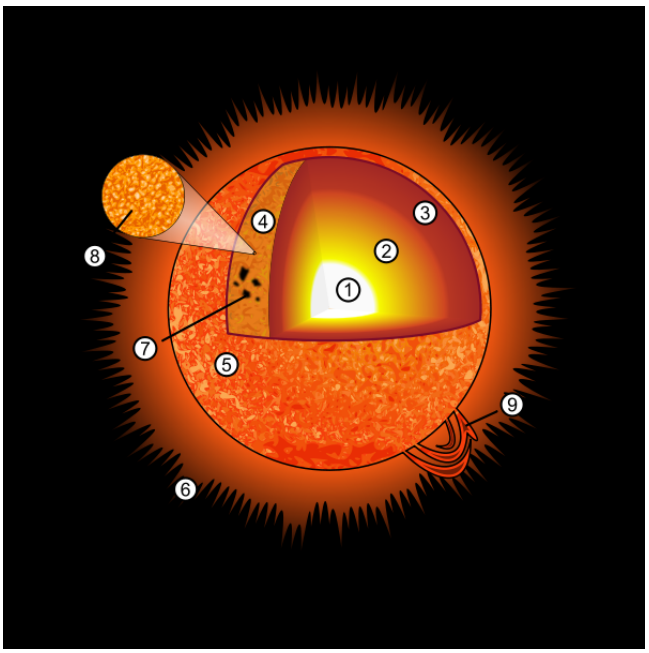


Figura 6.4: Diagrama da estrutura solar. (1) Núcleo, (2) Região Radiativa, (3) Região Convectiva, (4) Fotosfera, (5) Cromosfera, (6) Coroa. (De Wikimedia Commons sob licença Creative Commons 3.0)

nificativamente menor, em torno de 140 km. Por outro lado, a *granulação* é um processo *não estacionário*, isto quer dizer que suas médias temporais não são constantes. A maioria dos grânulos se forma do material de outros grânulos mais velhos. No centro costuma aparecer uma mancha escura que posteriormente se conecta ao contorno intergranular. Os grânulos se dividem em vários fragmentos que podem desaparecer ou crescer formando novos grânulos e com uma vida média que pode ser tão breve quanto alguns segundos e tão longa como 30 minutos com uma média de 6 minutos. A granulação é um efeito da convecção que tem lugar nas camadas internas do Sol, um processo que basicamente acontece porque o interior é mais quente, o gás aumenta sua temperatura e diminui sua densidade, o que o faz se elevar, as camadas superiores são mais frias, e ali o gás esfria, aumenta sua densidade e cai no interior, repetindo o processo novamente. Os grânulos são as células convectivas por onde sobe o gás quente, enquanto seu contorno mais escuro é por onde desce. Foram medidas velocidades de até 1 kms^{-1}, enquanto que modelos prevêem velocidades de até $1,6\ \mathrm{kms}^{-1}$. Por outra parte, um excesso de pressão ao centro do grânulo e sobre a região do contorno, consegue produzir um movimento horizontal que pára na borda. Como consequência, o centro, por onde sobe o material, é desacelerado, enquanto que a borda, por onde o material desce, é acelerado. Isto provoca, depois de um certo tempo, que menos material quente suba pelo centro da célula, tornando-se escura e finalmente desaparecendo.

Estruturas maiores foram observadas. São as chamadas *mesogranulação* , *supergranulação* e até a *granulação gigante* . No primeiro caso trata-se de células

de tamanho aproximado de 7.000 km e velocidades de 400 ms^{-1}. A supergranulação está formada por células de 16.000 km de diâmetro separadas por uns 30.000 km com velocidades horizontais de até 400 ms^{-1}. Por último existem evidências de uma granulação gigante, estruturas com tamanhos de 10^5 km, ou seja que ocupam uma parte consideravel da superfície solar e velocidade de uns 50 ms^{-1}. No entanto a observação destas últimas é bastante difícil porque deve primeiro ser substraido o movimento de rotação diferencial do Sol, da supergranulação e outras oscilações da superfície solar (*modos p*).

De forma geral, as distintas estruturas granulares observadas sobre a Fotosfera, permitem conhecer de forma indireta a Região Convectiva, que é onde se originam: quanto maior a estrutura mais fundo no interior são criadas.

As Manchas são, de forma resumida, os locais onde asoma um tubo magnético embebido no plasma solar[2]. A característica principal é sua cor escura, causada por uma temperatura inferior a de seu ambiente. As manchas podem ter uma região externa semi–clara, chamada de *penumbra* , embora isto não acontece sempre. Mais ainda, normalmente as manchas nascem sem penumbra, e podem evoluir até adquirir uma. E, como se vê na animação, as manchas podem ter pontos brilhantes na região central mais escura. Tudo isto revela que uma mancha longe está de ser uma estrutura simples sendo altamente inomogênea. Além do mais as manchas normalmente nascem em grupo, dentro do qual existem duas manchas de maior tamanho, numa disposição quase paralela ao equador. A mancha que está na frente (em relacão à rotacão solar) é chamada de *precedente* (**p**), enquanto que a que está por detrás é a *seguidora* (**s**). A precedente e a seguidora têm polaridades contrárias resultado de serem os pontos onde emerge o tubo magnético. Por outro lado, a orientação é contrária entre hemisférios, quer dizer, se **p** é positiva e **s** é negativa no hemisfério norte, **p** é negativa e **s** é positiva no hemisfério sul. Esta disposição é conservada ao longo de um ciclo solar, no ciclo seguinte as polaridades se invertem. As manchas se localizam sempre nas faixas $\pm(5-35)^\circ$; com uma evolução temporal que faz com que no início do ciclo estejam mais afastadas do Equador, e lentamente se desloquem para latitudes menores. Quando a latitude das manchas em função do tempo é graficada aparece um padrão conhecido como *Diagrama Borboleta* . Por outra parte **não existem manchas com polaridades cruzando o Equador.**

As manchas podem ter tamanhos muito variáveis, temperaturas entre 3400 K e 5000 K e campos magnéticos entre 0,3 e 0,4 T. Outra característica muito importante é que aparecem *rebaixadas* na fotósfera, como uma depressão da superfície. Este fato já foi notado pelo astrônomo escocês Alexander Wilson (1714 - 1786) no ano de 1769 quando percebeu que nas manchas a zona penumbral mais próxima do limbo parece ter maior extensão que aquela mais afastada. Por modelos atmosféricos foi determinado que esta depressão é de aproximadamente 500 km aproximadamente e acontece porque a *opacidade* é reduzida dentro de uma mancha e assim vemos mais fundo; também diminui a temperatura. Lembrem que o Sol é puro gás, e por isso os limites de suas regiões são sempre muito variáveis.

[2]Ver a animacão no seguinte link `http://www.horaultima.decoelum.net/images/granulaciones.mpg`

Qual é o motivo que faz com que tubos de campo magnético aflorem na superfície? Qual é a relação entre este fenômeno e o ciclo solar? Há muito sabemos já que o Sol possui uma rotação diferencial. Isto significa que o equador tem uma velocidade *angular* maior que os pólos. A rotação diferencial acontece apenas a partir da região convectiva, para dentro o Sol gira como um sólido rígido. A causa desta rotacão diferencial é o movimento de convecção, unido ao de rotação, que cria uma força de Corilis que desvia o movimento de ascenso e assim o intercâmbio de calor. Surge então, uma pequena diferença de temperatura entre as latitudes maiores e menores que resulta em movimento de matéria que altera a velocidade angular local. A rotação diferencial faz com que as linhas de campo magnético, originalmente bipolares, entortem, aparecendo linhas paralelas ao equador e finalmente movimentos instáveis que acabam fazendo emerger arcos magnéticos. A animação abaixo ilustra o modelo recém descrito.

O processo leva 11 anos, o que gera uma inversão do campo magnético. Ou seja, a cada 11 anos se organiza um campo bipolar e a cada 22 anos as polaridades são reestabelecidas. Por esse motivo, enquanto o *ciclo de atividade solar* ou *Ciclo de Schwabe* dura 11 anos o *ciclo magnético* é de 22 anos. Quando falamos em 11 ou 22 anos é em valores médios, porque a duração de um ciclo pode ser de até 14 anos e tão breve quanto 9 anos. As razões da variação do ciclo são ainda completamente desconhecidas. Mais ainda, as variações parecem ser puramente aleatórias e existem casos *patológicos* , como o chamado mínimo de Maunder, periodo entre 1645 e 1715 em que quase não houveram manchas. Conhecemos também períodos de extraordinária atividade, de fato tudo indica que por volta de 1957 tivemos o maior pico de atividade dos últimos 10.000 anos. Por enquanto são muitas as incógnitas porque o modelo de campo magnético solar é muito rudimentar e precisaremos mais de 100 anos para produzir um suficientemente preciso, se a evolução da capacidade numérica dos computadores segue respeitando a Lei de Moore.

6.3.2 Cromosfera

Se a Fotosfera parecia homogênea e descobrimos que não é assim, a Cromosfera (e as camadas que estão por cima desta) contém ainda mais elementos variáveis dentro dela, ao ponto de nos fazer duvidar da correção do uso da palavra *esfera* em seu nome. Esta camada emite muito pouca energia no contínuo de luz branca, por esse motivo não é observada a olho nu, no entanto a emissão atômica para determinadas freqüências, pode ser muito mais intensa que a produzida pela Fotosfera. Por esse motivo, para observar a Cromosfera se utilizam filtros que apenas transmitem as freqüências destas linhas atômicas.

A Cromosfera é conhecida desde a antigüidade, seu nome significa *esfera de cor* , e é observada durante eclipses solares. Quando a Lua cobre completamente o disco solar, nas bordas pode se ver um arco de cor vermelha (ver Figura 6.5). Os astrônomos antigos consideraram corretamente que o arco se extenderia sobre toda a superfície do Sol. No entanto, foram necessários mais de 2.000 anos até sermos capazes de construir filtros óticos capazes de deixar uma estreitíssima janela que deixa passar apenas uma cor determinada. Estes

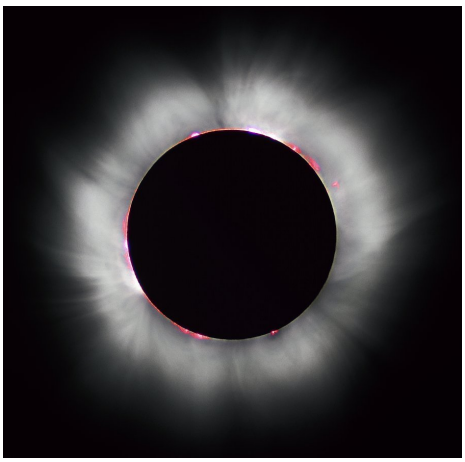


Figura 6.5: Fotografia de um eclipse solar de 11 de agosto de 1999 observado na França. A Lua cobre de forma precisa o disco solar, dessa forma podemos observar a emissão mais tênue das camadas superiores, como a Cromosfera (manchas vermelhas) e a Coroa (luz branca difusa). Autor da fotografia: Luc Viatour.

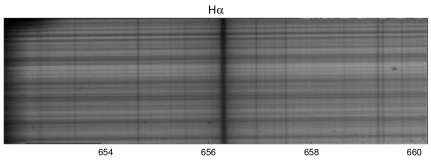


Figura 6.6: Fotografia do Sol usando um filtro centrado na linha **H**α (656,3 nm) produzida maiormente na Cromosfera. Observa-se grande quantidade de estruturas diferentes, como *filamentos* , *manchas* , *plages* e *proeminências* . Foto obtida pelo Telescópio de Big Bear em 2 de Novembro de 2001.

filtros, junto com um telescópio e uma câmera fotográfica foram os primeiros recursos usados para estudar a Cromosfera durante a segunda metade do século XIX. Na Figura 6.6 vemos uma fotografia com filtro centrado na linha espectral cromosférica mais conspícua, chamada **H**α e de comprimento de onda igual a 656,3 nm, foi observada pela primeira vez no Sol pelo astrônomo alemão Joseph von Fraunhofer e denominada por ele com a letra C.

Na Cromosfera acontecem dois fenômenos muito importantes. O primeiro é um aumento da temperatura. Vimos que na Fotosfera a temperatura diminui a medida que se afasta da superfície, no entanto em um ponto esta tendência se inverte. O mínimo de temperatura (4.200 K) indica o início da Cromosfera que se extende até atingir uma temperatura próxima aos 8.000 K. Todo isto em uma espessura de 2.000 km, muito estreita em comparação ao tamanho do Sol. O segundo fenômeno importante na Cromosfera são as *espículas* , que podemos descrever como *dardos de gás* de 10.000 K de temperatura e velocidade de 25 kms^{-1} com tamanho de até 5.000 km. As espículas representam vários problemas teóricos: 1) não sabemos como são aceleradas, 2) qualquer que seja

o mecanismo de aceleração, este deve continuar atuando durante seu deslocamento (uma *trajetória balística* não pode explicar a altura que atingem) e 3) a quantidade de matéria ejetada pelas espículas é superior a expulsa pelo vento solar, quer dizer, de alguma maneira parte da matéria tem que retornar, embora este movimento de descenso não foi observado até hoje.

6.3.3 Coroa

A fotografia do eclipse (Figura 6.5) mostra em toda sua grandeza a Coroa, última camada da atmosfera solar e também a mais extensa. A rigor pode-se pensar a Coroa como extendendo-se até o fim do Sistema Solar. No entanto por sua baixa densidade emite uma luz branca muito ténue que é difícil de se observar a olho nu. Quando acontece um eclipse, o disco lunar cobre a maior parte da emissão fotosférica, e por isso podemos ver a Coroa.

A característica mais importante desta camada é a sua temperatura *equivalente* a varios milhões de gráus. O mecanismo que mantém a Coroa a esta altíssima temperatura é **ainda desconhecido** apesar de que várias teorias foram propostas. É um dos mistérios cuja solução é mais desejada e para cuja busca múltiplos instrumentos foram projetados. Esta alta temperatura cria condições para a emissão de Raios-X e Ultra Violeta (UV), muito mais intensos que os emitidos pelas camadas inferiores e por esse motivo não devemos esperar eclipses para observá-los. No entanto para detectá-los devemos colocar telescópios no espaço exterior, porque a atmosfera terrestre os absorve quase totalmente. Outra forma de observar a Coroa é *provocando um eclipse*. Para isto constroem-se telescópios óticos aos que se lhes coloca um disco do tamanho aproximado do Sol, sendo chamados de *coronógrafos* . Os coronógrafos, porém, não conseguem reproduzir exatamente o efeito da Lua. O disco de obstáculo deve ser construído com um raio maior que o Sol, para evitar problemas óticos. Em geral, o disco tem pelo menos dois raios solares. Exemplos de observações espaciais e com coronógrafo, na Figura 6.7.

Temperatura equivalente
Na física atual, a temperatura é um conceito secundário, uma manifestação do conjunto de partículas (elétrons, íons, átomos neutros, moléculas) que formam um gás. Na Mecânica Estatística a temperatura é proporcional à energia média das partículas. Por exemplo, em um gás composto por um único tipo de partículas e em completa liberdade de movimento (quer dizer, sua única) a relação é a seguinte

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T \ ,$$

onde m é a massa de uma partícula, v é a velocidade média, $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1} é uma constante chamada de Boltzmann e T é a temperatura do gás.

Com esta definição, a temperatura quase zero absoluto do espaço exterior, não produziria as mesmas consequências que iria produzir, no nível do mar. Por qué? Porque para influenciar um corpo, o gás deve interagir. Se a densidade do gás é muito baixa, como acontece no espaço, relativamente poucas partículas interagirão e assim não haverá intercâmbio de calor. Portanto o corpo não esfriará/esquentará. A atmosfera da Terra tem umas $2,7 \times 10^{19}$ cm^{-3}. Na superficie do Sol, a densidade não passa de 10^{14} cm^{-3} na Fotosfera e 10^{9} cm^{-3} na Coroa.

Se o gás tem mais de um tipo de partículas, pode acontecer que não estejam no equilíbrio termodinâmico e assim cada espécie pode ter uma temperatura diferente. Este é o caso da Coroa que está formada por diferentes tipos de íons e um grande número de elétrons, cada um deles com diferente temperatura, sendo referida unicamente a *temperatura eletrônica*. Também pode acontecer que as diferentes espécies de partículas não estejam em equilíbrio, nesse caso a noção de temperatura perde sentido (essas partículas são ditas *supratérmicas*).

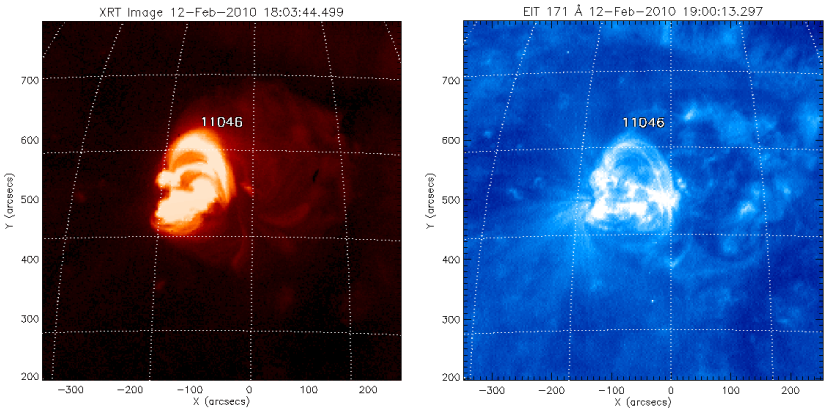


Figura 6.7: Esquerda: Detalhe de uma Região Ativa observada em Raios-X *mole* por meio de um satélite da série GOES. Direita: a mesma região ativa, observada no UV pelo satélite Trace. As cores são fictícias.

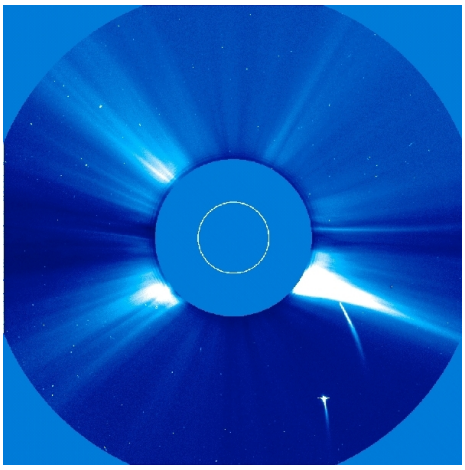


Figura 6.8: Fotografia do Sol em luz branca obtida por meio do coronógrafo abordo do satélite SoHO. A circunferência branca no centro representa o disco solar. O disco azul é o obstáculo colocado frente ao telescópio. As *flâmulas* brancas são material abandonando a superfície do Sol. Os dois sulcos brancos, em posição quase vertical abaixo a direita da foto, são cometas, provavelmente caindo ao Sol. Este Coronógrafo se tornou, sem ter sido projetados para isso, em um excelente *caçador de cometas* .

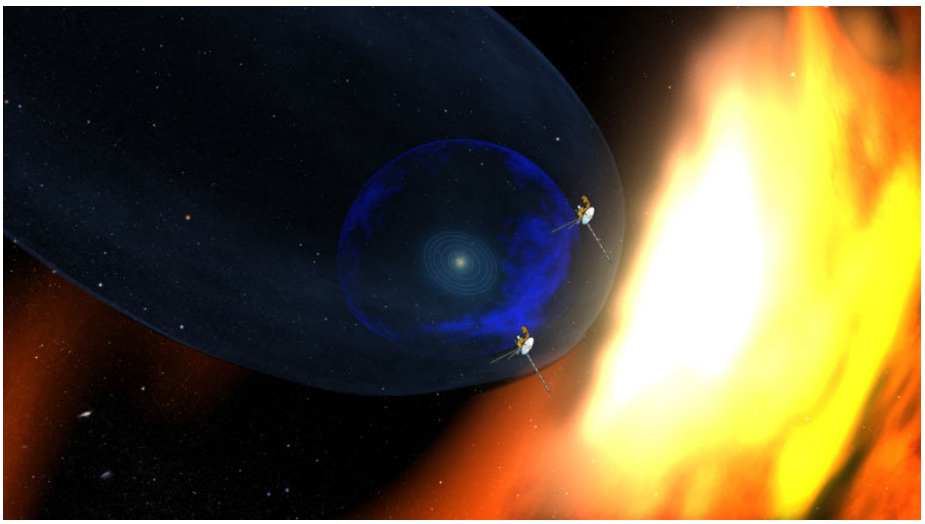


Figura 6.9: Representação da posição das Voyager 1 e 2 respeito da Heliosfera. No centro da imagem o Sol, cercado por elipses que representam órbitas de alguns dos planetas. A bolha azul é a Heliosfera, externamente encontra-se a *bainha* (sheath) Em branco/amarelo representa-se a onda de choque provocada pelas partículas interestelares contra a Heliosfera. (Fonte: Jet Propulsion laboratory.)

As observações das caudas dos cometas levaram a Lüdwig Biermann a justificar a existência de uma radiação corpuscular que parte do Sol, ou, em palavras mais simples, um *vento solar* . Poucos anos mais tarde, em 1958, Eugene Parker explicava a origem do vento solar por meio da expansão de uma Coroa Solar a milhões de graus de temperatura. A hipótese de uma Coroa tão quente foi, naquele momento, uma heresia e demorou alguns anos para ser comprovada experimentalmente. A teoria de Parker é hoje amplamente aceita e as ideias básicas do seu modelo ainda são consideradas corretas.

O vento solar, que pode ser considerado uma extensão da Coroa, longe está de ser uma estrutura homogênea. Medidas realizadas por meio de sondas interplanetárias, mostram que é mais rápido nos pólos (750 kms^{-1}) e também mais estável. Na região do equador solar, o vento é muito irregular e sua velocidade cai para a metade. Neste processo o Sol perde em torno de 4×10^{16} kg ao ano, uma porcentagem muito pequena de seus 2×10^{30} kg. A pressão deste vento se faz sentir além da órbita de Netuno, último planeta do Sistema Solar e a região de sua influênçia é chamada de **Heliosfera** . As sondas Vogayer 1 e 2 encontram-se no final desta *bolha* , a uma distância de 100 UA, em uma região chamada de *cobertura* ou *bainha* (em inglês *heliosheath*).

A Heliosfera tem um papel crucial no Clima Espacial e Terrestre que só agora estamos começando a compreender. Quanto mais intenso o vento, menos partículas entram no Sistema Planetário. Essas partículas criam os chamados *raios cósmicos* que, fora da Atmosfera terrestre podem trazer problemas aos equipamentos eletrônicos e aos seres vivos. Sua influência sobre a superfície

terrestre é mais especulativa, com teorias que os relacionam com a formação de nuvens, aumentos das chuvas, e variação da temperatura global. Assim, em períodos de **baixa atividade solar**, quando o vento é menos intenso, espera-se um maior bombardeio de raios cósmicos, aumentando a cobertura de nuvens e diminuindo a temperatura. O contrário poderia acontecer nos períodos de grande atividade solar.

6.4 Tempestades, explosões e ejeções

Na atmosfera do Sol acontecem eventos que podemos descrever como *explosivos* por sua curta duração e grande quantidade de energia liberada. Tecnicamente, no entanto, longe estão de se parecer com as explosões de bombas que conhecemos na Terra.

A primeira explosão foi observada em 1ro de Setembro de 1859 pelo astrônomo britânico Richard Christopher Carrington (1826 - 1875). Carrington estava observando o Sol de forma periódica, e aquele dia teve a sorte de ver em forma direta a maior *explosão em luz branca* que deve ter acontecido nos últimos 400 anos. Segundo a descrição de Carrington uma pequena porção do conjunto de manchas mais visível daquele dia incrementou sua intensidade em luz branca. O *fenômeno* como o chama Carrington, durou poucos minutos. Magnetómetros (medidores do campo magnético terrestre) mostraram distúrbios poucos minutos depois, e umas horas mais tarde os mesmos equipamentos observaram uma *tempestade* magnética. Carrington concluiu que ambos os fenômenos estavam relacionados: acabava de inaugurar um ramo novo nas ciências geofísicas, o ramo das *Relações Sol - Terra* e deu o primeiro passo no chamado *Clima Espacial*. Não apenas isto, Carrington ficou surpreso que depois da *erupção* (*outburst* o chama ele em inglês) o conjunto de manchas mantinha a mesma disposição, apesar de que evidentemente acabava de ser emitida uma grande quantidade de energia.

O estudo das explosões evoluiu rapidamente, porém em luz branca são poucas as muito intensas já vistas. Hoje em dia entendemos as explosões como um processo no qual o campo magnético reconfigura-se buscando um estado de menor energia potencial. Ao longo do ciclo solar, o campo magnético se retorce, criando zonas muito complexas, onde aparecem as manchas solares, e em geral, as regiões ativas. É nestes locais onde se acumula a energia, que é subitamente liberada durante uma explosão. Podemos pensar o campo magnético como uma borracha. Imaginemos que tomamos essa borracha e a retorcemos, uma, dez, cem vezes. Cada vez será mais difícil. Até que finalmente, a borracha escapa de nossas maos e num movimento muito rápido recupera sua forma original liberando a energia que acumulou. Este sistema é utilizado no aeromodelismo para prover de um motor os pequenos planadores a hélice. Na minha infância eram chamados de "borracha motor".

A energia liberada pelo campo magnético é absorvida pelas partículas do gás: sendo os elétrons as mais leves resultam ser acelerados em maior número, e eles são chamados de *elétrons não térmicos* ou *supra-térmicos* . O movimento

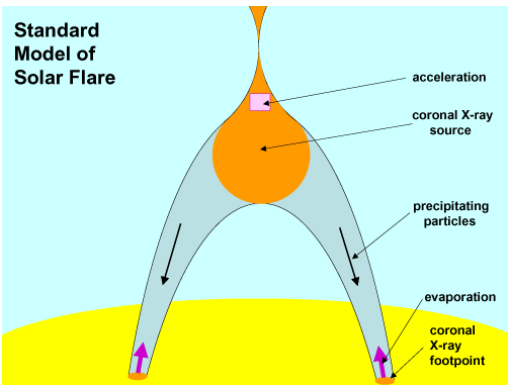


Figura 6.10: Esboço do modelo padrão de uma explosão solar. No topo do arco magnético, (baixa Coroa), se produz a reconfiguração magnética (*reconexão*), as partículas são aceleradas (quadrado rosa) e começam a se movimentar pelas linhas magnéticas. Algumas *precipitam* para os pés do arco, outras adotam um movimento ascendente. Na sua interação com o meio e com o campo magnético vão produzindo diferentes formas de radiação. (Figura obtida de Benz, A., "Flare Observations", Living Rev. Solar Phys. 5, 2008, 1., `http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2008-1/`, acessado em 16/02/2010)

dos elétrons não térmicos é organizado pelo campo magnético, alguns vão para abaixo (a Fotosfera) outros para acima (a Coroa). Os elétrons acelerados interagem com o gás não acelerado (seja com outros elétrons, com átomos ou com íons). Uma enorme quantidade de processos acontece em escalas relativamente curtas de tempo. Cada um destes processos produz um *sintoma* próprio, uma *assinatura* como habitualmente a chamamos, que os distingue dos outros. Podemos rastrear cada processo por separado e reconstruir o impacto da erupção magnética, e a partir disto, podemos compreender como foi o processo que acelerou as partículas e, em definitva, o de reorganização do campo magnético. No entanto as coisas não são tão fáceis assim. É como armar um Cubo Mágico de 50 caras e milhares de pecinhas. Sempre mais de uma fica fora do quadro geral. Apesar destes fabulosos problemas, hoje em dia existe um consenso geral que é apresentado no esboço da Figura 6.10. (Muito embora sua clara utilidade prática, este tipo de esboços costumam ser chamados de *cartoons* para não esquecer sua simplicidade em comparação com a complexidade do fenômeno.)

A variedade de interações, e a quantidade de energia fazem com que seja produzida radiação em todo o espectro eletromagnético. No entanto estas formas de emissão restringem-se a bandas estreitas, em alguns casos trata-se de linhas atômicas, em outros são bandas mais largas, mas em poucos casos a faixa correspondente ao visível é completada. Em outras palavras, dificilmente se forma luz branca, e quando acontece, é em regiões muito pequenas e com uma duração muito breve, de alguns poucos segundos. Por esse motivo a observação de Carrington é tão ímpar.

A quantidade de energia emitida pelo Sol durante uma explosão é entorno de

10^{23} a 10^{25} J, equivalente a 1 miléssimo – 1 décimo da energia total que emite o Sol cada segundo como resultado de suas reações termonucleares. Quer dizer que uma explosão libera uma energia importante. No entanto, como percebeu o próprio Carrington, após uma explosão, poucas mudanças são observadas na configuração magnética. Ou seja, a quantidade de energia liberada é uma porcentagem pequena de toda a armazenada na Região Ativa. Na verdade irá perdendo sua energia em processos mais lentos, *difundindo-se* devagar até sumir 30 dias depois de se formar. Nesse período terá produzido uma dúzia de explosões grandes e uma quantidade ainda desconhecida de *micro* - ou *nano* -explosões, além das *Ejeções Coronais de Massa* (ver abaixo). Alguns pesquisadores acreditam que nas micro-explosões encontra-se a chave para explicar o aquecimento da Coroa que mencionamos anteriormente. Para terminar com os sintomas e diagnósticos das explosões, estas são observadas por meio de todas as técnicas que a astronomia nos permite: desde rádio telescópios em freqüências que vão desde centenas de MHz até, recentemente, as centenas de GHz , telescópios convencionais com filtros especiais para deixar passar uma faixa estreitíssima de freqüências, até o extremo dos raios UV, Raios-X e os Raios-γ. Ultimamente está sendo incorporada a banda Infravermelha média (dezenas de μm) a distante (centenas de μm). Sobre as conseqüências das explosões, sobre todo para a vida na Terra, falaremos depois.

Outra forma violenta de emissão de energia é a chamada Ejeção Coronal de Massa (ECM). Neste caso uma porção importante do gás é expulsa da Coroa (dali o nome) e entra no espaço interplanetário. Junto com a energia cinética, o gás leva também o campo magnético desprendido. Uma definição mais precisa de uma ECM é: *uma alteração visível da estrutura da Coroa que acontece em alguns minutos a horas e que é vista junto com a aparição de uma estrutura brilhante e branca num coronógrafo.* (Hundahausen et al, 1984).

Este fenômeno libera entre 10^{10} e 10^{13} kg de matéria e entre 10^{20} e 10^{26} J de energia. A relação entre ECM e explosões é altamente debatida, as vezes acontecem ECMs junto com explosões, as vezes cada um acontece em um momento diferente. Como no caso das explosões, a maior parte das perguntas sobre ECMs está ainda aberta: sabemos que a energia liberada provem também da reconfiguração magnética, mas não sabemos porque algumas vezes ocorrem explosões, outras vezes ECMs e ainda em outros casos ambas.

6.5 Influência da Atividade Solar na Terra: Clima Espacial

Agora que contamos com uma descrição das diferentes formas em que o Sol mostra sua atividade, queremos ver de qual forma ela afeta à Terra, e particularmente, à atividade humana. Para poder falar deste tema devemos introduzir as ideais básicas do que chamamos *Magnetosfera*, que é a projeção no espaço do campo magnético terrestre.

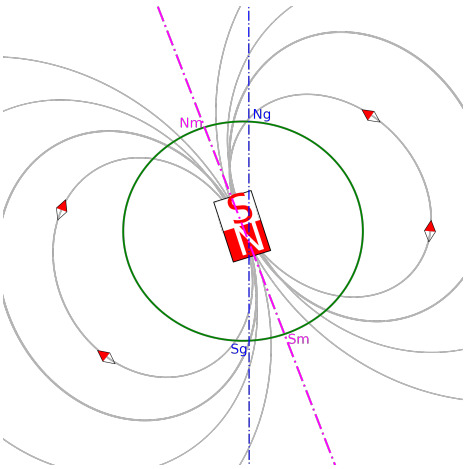


Figura 6.11: Esquema do Campo Magnético Terrestre, mostrando sua configuração bipolar. (Fonte: Wikimedia Commons)

Nem todo planeta possui campo magnético. A Terra é um caso particular. Seu campo magnético tem uma intensidade de entre 300 μT no Equador e 500 μT nos pólos, e tem distribuição bipolar, como se fosse um ímã de geladeira. É interessante ressaltar que este ímã tem seu pólo Sul apontando para o pólo Norte geográfico e o pólo Norte para o Sul geográfico. Desta forma o Pólo Norte de uma bússola se vê atraído para o Pólo Sul Magnético (e chamamos sua direção de *Pólo Norte*) e o Pólo Sul da bússola para o Pólo Norte magnético (e o chamamos de Pólo Sul). Embora pareceria ser uma contradição, todo se trata de convenções (que se extendem ao ámbito sociológico). Na Figura 6.11 mostramos uma representação deste campo magnético que chamaremos *próximo* .

O forte vento solar com densidade de 4 partículas cm^{-3} e velocidade média de 400 kms^{-1} altera a forma do campo magnético terrestre. O lado que enfrenta o Sol vê reduzido o seu tamanho e seu raio é modulado pelos distúrbios desprendidos do Sol. Em momentos de *calma*, a chamada *magnetopausa*, zona onde a pressão magnética do Sol iguala a pressão magnética da Terra, se encontra a 10 R_T = 63.700 km. No entanto, durante *tempestades magnéticas* a distância pode diminuir até menos de 30.000 km. A região oposta ao Sol é esticada, extendendo-se além da órbita da Lua (380.000 km). Na *magnetocauda* podem acontecer interessantes fenômenos que dão origem às Auroras Polares.

Edmund Halley, descobridor do cometa de seu nome, foi, em 1716, o primeiro em propor a hipótese de que as auroras são uma consequência da interação de partículas com o campo magnético terrestre. Depois seriam Anders Celsius e Olav Hiorter em 1747 os que relacionariam as oscilações de uma bússola com auroras, o que revelava a natureza magnética do fenômeno. E finalmente Carrington mostrou a variação solar de 11 anos no campo magnético terrestre e as auroras.

Hoje em dia o estudo da interação da Heliosfera com a Magnetosfera e suas

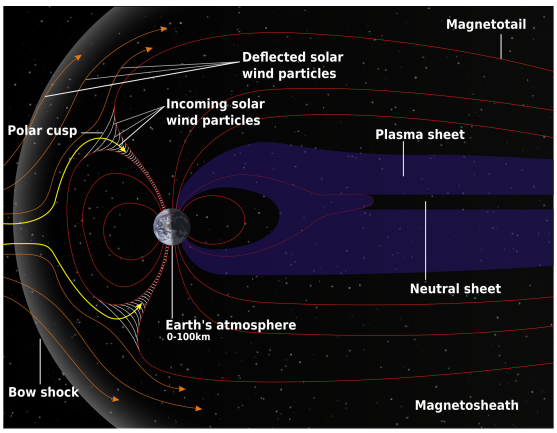


Figura 6.12: Esquema da Magnetosfera ou Campo Magnético Terrestre distante. A forma bipolar é perdida pela interação com o Campo Magnético e o Vento Solar (*Heliosfera*). Tradução. *Bow Shock*: frente de choque. *Polar Cusp*: Vértice Polar. *Incoming solar wind Particles*: partículas entrantes do vento solar. *Deflected solar wind Particles*: partículas desviadas do vento solar. *Earth Atmosphere*: atmosfera terrestre. *Magnetosheath*: Magnetobainha. *Neutral Sheet*: folha neutra. *Plasma Sheet*: folha de plasma. *Magnetotail*: Magnetocauda. (Fonte: Wikimedia Commons)

consequências para a vida moderna é um campo cada vez mais importante que recebe ingentes recursos dos governos. É fácil compreender o porqué, quando percebemos que as alterações no espaço exterior próximo são uma consequência desta interação e contamos a grande quantidade de satélites artificiais que servem à navegação, a segurança e o monitoreamento. Uma vez que acontece um evento *explosivo* no Sol, seja uma explosão ou uma Ejeção Coronal de Massa, em 8 minutos chega a radiação eletromagnética. Vinte minutos depois, as partículas carregadas mais energéticas. Por último, no caso de uma ECM a nuvem ejetada, 80 horas mais tarde. Todos estes valores são médias (exceto para a radiação eletromagnética) já que dependem fortemente da energia de cada um.

Embora as auroras sejam os fenômenos mais conhecidos, elas são inofensivas para a vida, e a preocupação está na proteção de equipamentos em órbita. As partículas carregadas (*radiação ionizante*) são capazes de produzir danos nos circuitos eletrônicos que podem levar, desde um mal funcionamiento momentâneo à inutilização permanente. Dependendo de qual equipamento fique danificado poderá ocorrer a inutilização total do satélite. Uma proteção efetiva contra estas partículas significaria uma blindagem pesada a um custo em órbita proibitivo. Temos que ter em conta, por outro lado, que a grande maioria dos satélites se localiza dentro da Magnetosfera (10 R_T) que lhes dá uma certa proteção. Apesar disto o aumento de partículas na área onde se encontra o satélite, muda as características do meio aumentando o atrito, fazendo com que perca energia e em consequência encurtandao sua vida. Está claro que mais risco têm os astronautas, principalmente durante uma excursão espacial onde são alvo de radiação α,β e γ.

Quando acontece uma *tempestade magnética* , gerando grandes variações do campo magnético terrestre, também mudam as camadas mais próximas da atmosfera pelo ingresso maior de partículas. Como as comunicações dependem da transmissão por ou através destas camadas, os distúrbios são muito indessejáveis. Uma *lenda urbana* (nunca li sua confirmação oficial) diz que durante a Primeira Guerra do Golfo, (1990, 1991) as comunicações entre o Pentágono e Iraque, se interrompiram durante uma tempestade magnética. Os militares norte-americanos teriam ficado muito irritados e por isso aumentaram suas contribuições para a pesquisa em relações Sol - Terra. Verdadeira ou não, a história é verossímil. Hoje em dia o risco aumentou porque a constelação de satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS) deve permanecer em contato com a Terra permanentemente para não perder suas referências e para brindar seus dados às estações receptoras. As mudanças nas camadas mais altas da atmosfera terrestre (ionosfera) criam desde atrasos na comunicação até bloqueios momentâneos. Eu pude comprová-lo em novembro de 2003 durante um dos períodos de maior atividade solar. Nossos telescópios usam GPS para ter uma boa base temporal. Analisando registros de nossos dados achei muitos períodos em que o tempo dá um salto para atrás de alguns segundos, para, momentos depois, se corrigir dando um salto para frente. O que para nós não deixa de ser uma curiosidade, para uma nave tripulada pode ser a diferença entre se despedaçar na pista ou pousar suavemente. Por esse motivo os aviões levam sistemas redundantes de posicionamento.

O aumento de radiação ionizante advindo de um evento explosivo solar tem reflexos na estratosfera onde se podem produzir componentes incomuns de óxido de nitrogênio (NOx) que têm conseqüências a longo prazo para a camada de Ozônio. Especula-se também que as partículas ionizadas seriam capazes de favorecer a formação de núvens e gelo. Mesmo equipamentos na Terra poderiam sofrer danos importantes por causa destas partículas. Os alvos mais conhecidos são as longas linhas de alta tensão, transformadores e gasodutos. As grandes redes de eletricidade sofrem com as correntes induzidas pelas correntes elétricas geradas pela entrada de partículas carregadas na atmosfera, o que as pode levar a blecautes generalizados. Alguns são muito conhecidos, como o da província de Quebec em 1989. No caso de dutos baixo terra, as correntes induzidas aumentam sua corrosão diminuindo o tempo de vida. Foram os telegrafistas, há 150 anos, os primeiros em perceber as influências negativas das tempestades magnéticas. Em qualquer caso, estas consequências foram relatadas unicamente em regiões próximas aos pólos.

Desde que Joe Allen, trabalhando para a NASA, usou pela primeira vez o termo *Clima Espacial* (Space Weather), existe uma inicitiva para poder prever a aparição e intensidade de tempestades magnéticas. Não é tão simples como ver se acontece uma ECM porque algumas não produzem efeito importante. Unicamente com medições *in situ* somos capazes de avaliar seus riscos, mas os nossos satélites de *alerta* estão a apenas 40 minutos de distância da chegada de uma destas nuvens, o que não é muito útil. Muito foi investido para desenvolver melhores instrumentos de observação, e modelos teóricos, para sermos capazes de prever uma tempestade no momento de acontecer uma ECM. Seria ainda melhor poder prever uma ECM, algo que ainda é impossível.

Após 50 anos de experiência espacial, estamos em condição de dizer que a atividade solar é capaz de gerar complicações a nossos sistemas de comunicações, de segurança e de transporte de energia. Podem até aumentar os riscos à vida no espaço. Mas resulta altamente improvável acontecer uma catástrofe global. Nem sequer parece muito provável uma catástrofe que *desligue* todos os satélites artificiais simultaneamente. Especulou-se que alguma das extinções em massa que aconteceram na Terra poderia ter sido produzida por uma atividade extremamente anômala do Sol. Não vejo, no entanto, indícios suficientes para sustentar esta teoria. Existem sim algumas evidências de um fenômeno semelhante com origem em evento explosivo estelar: uma erupção de raios-γ poderia estar relacionada com a extinção do Cambriano. Em qualquer caso continuo sem ver motivos de preocupação para a população em geral.

6.6 Uma Bibliografia Básica

Se o leitor busca mais informações sobre o Sol, pode acha-las no seguinte livro de divulgação científica:

Roque da Silva, A.,*Nossa estrela: O Sol* , Ed. Livraria da Física, Brasil, (2006), ISBN:8588325659

A seguir damos uma lista de livros e artigos que foram consultados para escrever este capítulo.

Haigh, J.D.,*The Sun and the Earth's Climate* , Living Reviews in Solar Physics 4, (2007), 2. URL (acessado em 07/03/2010): `http://www.livingreviews.org/lrsp-2007-2`

Hoyt, V.D., Schatten, K.H. ,*The Role of the Sun in Climate Change* , Ed. Oxford University Press, ISBN:0195094131 (1997)

Pulkinnen, T., *Space Weather, Terrestrial Perspective* , Living Reviews in Solar Physics 4, (2007), 1. URL (acessado em 07/03/2010): `http://www.livingreviews.org/lrsp-2007-1`

Stix, M., *The Sun: an introduction* , Ed. Springer, ISBN:3540207414 (2004)

Capítulo 7

O magnetismo terrestre

A harmonia e a ordem que observamos no Céu são o resultado de apenas uma única interação que chamamos de Força Gravitacional. A Gravitação dos corpos cria, além das órbitas de planetas, cometas e asteróides, as maravilhosas formas dos aglomerados estelares, das galáxias e dos aglomerados de galáxias, atuando a distâncias incrivelmente grandes que medimos em anos luz. Porém, a grandes distâncias os Campos Magnéticos também têm um papel importante, sendo a segunda força em ordem de importância.

(Talvez o leitor se pergunte porque a força elétrica não é tão importante, apesar de ser mais intensa que a magnética. Acontece que a própria intensidade da força faz com que qualquer desbalanço de carga seja anulado rapidamente. Quando a carga *líquida* é nula, a força elétrica cesa.)

Os Campos Magnéticos são muito intensos e importantes no Sol e em geral em todas as estrelas. Também encontramos magnetismo nas Galáxias e nos planetas.

Nem todos os planetas do Sistema Solar possuem um campo magnético *global*. Em alguns casos apresentam um magnetismo remanescente, criado pelo material magnetizado quando se formou o planeta. Por causa dos anos passados, este campo é fraco e está fracionado; cada fração apresenta uma direção distinta. Isto acontece principalmente nos planetas rochosos como Vênus e Marte. Mercúrio, no entanto, é um caso intrigante porque tem um campo global, bastante fraco, cuja origem é diferente à dos outros planetas. Os grandes planetas gasosos, Júpiter, Saturno, Urano y Netuno, por sua vez, possuem intensos campos magnéticos.

7.1 O Dínamo Terrestre

A Terra é uma exceção a esta regra. Quando os planetas e as estrelas se formam *herdam* o campo magnético da nuvem que os forma. O problema é que o campo *difunde*, de certa forma se propaga para outras regiões, perdendo sua intensidade até que eventualmente se extingüe. Isto pode acontecer num lapso bastante breve da vida de um corpo celeste. Por exemplo, no caso da Terra, entre 20.000 e algo mais de 100.000 anos.

A diferença da força elétrica, que depende da carga, característica da matéria que não muda no tempo, os campos magnéticos somem se não têm um gerador, um *dínamo*. A Terra, com seus 4,5 bilhões de anos de existência já devería ter perdido todo vestígio de seu campo original. E se não perdeu é porque no seu interior há este gerador.

Um dínamo é um sistema que transforma movimento mecânico em corrente elétrica. O dínamo terrestre transforma a rotação da própria Terra em magnetismo e é *autoexcitado*, quer dizer, não precisa de um campo magnético externo. O processo é complexo mas podemos dar as condições necesárias: *1) Rotação diferencial* : a Terra não é um sólido rígido, no seu interior algumas camadas têm velocidade angular de rotação diferente e *2) deve existir um fluido condutor*

de corrente elétrica .

O interior terrestre está dividido em: **Crosta** , **Manto** e **Núcleo** . A Crosta, camada externa da Terra, mede entre 12 e 80 km de espessura. O Manto tem em torno de 3.000 km, costuma ser dividido em interno e externo, este último com características de *fluido* segundo alguns pesquisadores. O Núcleo tem una extensão de 3.000 km aproximadamente também, sua parte externa é líquida e está formada maiormente por ferro, a região mais interna é sólida. A densidade do núcleo é muito superior à da crosta (que é formada principalmente por granito e bassalto) justificando a elevada densidade média da Terra (5,5 g cm^{-3}). É na camada externa do Núcleo, formada principalmente por ferro líquido, onde se dão as duas condições descritas acima para que se forme um dínamo autoexcitado. Tem um gradiente positivo de temperatura para o interior que produz um movimento ascendente do líquido por convecção, desviado pela força de Coriolis. Ou seja, a diferença de temperatura entre o núcleo e o manto faz o fluido ter um movimento radial (*ascendende* e *descendente*) e a força de Coriolis o desvia lateralmente. Todos os movimentos criam correntes elétricas que terminam sustentando o campo magnético. Foi Edmond Halley, o astrônomo que *descobriu* o mais famoso cometa, quem propôs em 1692 que o centro da Terra deve girar $0,5°$ por ano em relação à superficie para explicar o campo magnético observado. Sua capacidade científica fica evidente ao comparar este valor determinado unicamente por meio de bússolas, com o atual de $0,2°$ a $0,3°$ por ano.

O campo magnético terrestre não é muito intenso, no Equador é em torno de 30μT = 0,3 G. Como comparação em Júpiter o campo equatorial é 14 vezes maior (428μT = 4,28 G) e no Sol o *campo poloidal* atinge os 1000μT ou 10 G, ou seja, mais de 3000 vezes mais intenso que o terrestre!

7.2 Inversões Magnéticas

Sabemos que o campo magnético solar sofre a inversão (ou *reversão*) de sua polaridade a cada 11 anos aproximadamente, devido ao acoplamento de suas duas componentes principais: aquela que vai de polo a polo (*poloidal*) e aquela que é paralela ao equador (*toroidal*).

No caso terrestre existe evidência suficiente de que o campo poloidal terrestre inverteu ao longo dos anos mantendo-se sempre quase paralelo ao eixo de rotação, condição necessária para que o modelo de dínamo seja correto. No entanto não se determinou periodicidade alguma, transcorrendo períodos de milhões de anos sem nenhuma mudança aparente. **Alguns pesquisadores acreditam que estamos às portas de uma nova inversão.** Nos últimos 30 anos foram lançados satélites ao espaço capazes de medir o campo magnético terrestre com precisão e resolução espacial. O que mostram as imagens é que regióes de polaridades contrárias se aproximam dos dois pólos. Os modelos de computador indicam que esta é uma condição necessária para que aconteça a inversão magnética. No entanto os autores dos trabalhos (Gary Glatzmaier da UCLA, e Peter Olson da Johns Hopkins) não podem prever quando efetivamente a mudança virá a acontecer. E além disto, nos modelos a inversão demora **9.000**

anos para se completar. De qualquer forma, os estudos do dínamo (terrestre ou solar) estão só nos primórdios. A única forma de se estudá-los é por meio de simulações de computador, mas, por limitações dos processadores atuais, estamos muito longe de produzir modelos realísticos. O parâmetro geral chama-se *Número de Reynolds Magnético*, R_B, número adimensional que mede o grau de turbulência de um fluido magnético. Nos modelos R_B é bastante menor que 100, enquanto que no núcleo terrestre deve ser maior que 1.000. Desta forma é difícil fazer previsões. Podemos no entanto afirmar que o campo magnético *medido* teve poucas variações nos últimos 30 anos, por tanto não há motivos para supor que uma nova inversão possa acontecer nos próximos anos.

É importante observar que quase uma centena de inversões magnéticas nos últimos 70 milhões de anos têm sido descobertas pelos paleontólogos. Nenhuma delas pode ser associada com algum cataclismo, como por exemplo uma extinção massiva de espécies vivas. Também não parecem ter afetado o desenvolvimento do homem, que há 780.000 anos testemonhou a última.

7.3 O escudo magnético

A principal função do campo magnético terrestre não é indicar a direção dos pólos, mas criar um escudo chamado *magnetosfera*. A magnetosfera é o primeiro escudo contra as partículas carregadas, chamadas *raios cósmicos*, que bombardeiam a Terra de forma permanente. Os raios cósmicos são produzidos fora do sistema solar e também pelo próprio sol. Em qualquer caso é benéfico que não chegem à superfície terrestre porque são perigosos para a saúde. As partículas são desviadas pela força magnética, algunas ficam aprisionadas nos tubos magnéticos até que finalmente caem (*precipitam*) entrando pelos pólos. Quando muitas partículas entram desta forma produzem as chamadas auroras.

No entanto alguns raios são capazes de atravessar a magnetosfera de forma direta, chegando enfraquecidos. Qual é a ação destes raios cósmicos na biosfera é matéria de discusão hoje em dia. Por exemplo existem fortes indícios de que a formação de nuvens é facilitada pela presença de raios cósmicos na atmosfera. Se assim for, as chuvas e a temperatura superficial podem ser influencidas por agentes externos.

A magnetosfera é alterada pelo campo magnético solar (chamado de *heliosfera*) por esse motivo tratamos este tema no capítulo sobre o Sol: Influência da Atividade Solar na Terra: Clima Espacial, Seção 6.5.

7.4 Uma Bibliografia Básica

A continuação uma lista de livros e artigos consultados para escrever este capítulo.

G. A. Glatzmaier e P. Olson, *Viagem ao Geodíanmo*, Scientific American Brasil,

3,36, 32-39 (2005)

P. D. Lowman Jr.,*Earth's interior*, en la *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Ed. Nature Pu. Co. e Institute of Physics Publishing, ISBN-10:0333750888 (2001)

K. Moffatt., *Dynamo Theory*, en la *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Ed. Nature Pu. Co. e Institute of Physics Publishing, ISBN-10:0333750888 (2001)

J. W. Kern e E. H. Vestine, *Magnetic Field of the Earth and Planets*, *Space Science Reviews*, **2** ,136-171 (1963)

Parte III

Depois de 2012

Capítulo 8

Epílogo

Comecei este projeto no início de 2009, depois de ouvir pessoas muito preocupadas por um possível *Fim do Mundo*. Eu já tinha atravessado vários *Apocalipses* na minha não muito longa vida, e ainda fico impressionado com a capacidade para criar novos. A primeira vez que escutei falar nos presságios maias, foi da boca de uma médica muito informada sobre o alinhamento galáctico e o ciclo da precessão do eixo terrestre. Não é um tema simples de compreender o movimento da Terra, me chamou a atenção o esforço por entender uma questão geológica / astronômica em função de uma vaga profecia antiga. E ali vislumbrei os dois eixos sobre os que pensei devia ser feita esta obra:

8.1 O interesse por questões científicas e históricas

O lado positivo da preocupação com o Fim do Mundo, é o súbito interesse que despertou por Maias e, em menor medida, pelos processos naturais associados com as profecias de 2012. Esta é sem dúvida uma oportunidade que não pode se perder. Grande parte das ideias relacionadas com as profecias de 2012 são baseadas em conceitos incompletos, incorretos ou diretamente falsos. Uma comunidade imensa de pessoas se interessa então por saber mais sobre um Fim do Mundo que, segundo algumas fontes, está próximo. Com tanto ruído, porém, é possível trazer um pouco de harmonia.

Os maias foram quase divinizados, uma sociedade perfeita, em total harmonia com o seu meio. Alguns até supõem que partiram com rumo celestial, talvez de onde vieram. No entanto, quando encontramos as marcas que deixaram, vemos que se trata de um povo de seres humanos como nós, uma sociedade nem melhor nem pior que a nossa, que gostava das guerras, dos templos colossais, e que não duvidou em desmatar suas florestas para cumprir com suas *obrigações* com os Deuses o que colocou a população em uma situação de risco quando começou a faltar alimento (não muito diferente do que acontece hoje com os países que produzem *ajustes* para pagar suas dívidas soberanas). Uma sociedade capaz de desenvolver técnicas fantásticas de ourivesaria, de agricultura, que fez um culto dos números, das estrelas e dos calendários, que teve uma bela poesia e arte e um caráter indomável. E que pereceu apenas pelo poder da pólvora. Seus descendentes guardam ainda hoje com orgulho a rica herança que puderam colher de seus ancestrais. É possível que essa sociedade tenha profetizado um fim, mas não temos razões para pensar que deva ser o próximo ano, ou daqui a 1000. A depredação dos conquistadores espanhois nos deixou a história sem concluir. Tudo que pode ser adicionado sobre as profecias maias é produto de nossos próprios fantasmas e dos medos que nos atormentam.

8.2 O Apocalipse *que nunca chega*

Desde que o homem deixou traços de sua existência, mostrou seu temor pelo *Fim do Mundo* . Todas as religiões abordam o tema, e a palavra *apocalipse* , cujo significado original é revelação, dá nome a um dos capítulos mais importantes

do livro que é a base do cristianismo. **Em 5000 anos de história devemos ter mais de 5.000 versões diferentes do Apocalipse** . Nos últimos anos, no entanto, me parece cada vez mais frequente apelar para a proximidade do fim dos tempos. E, na minha visão da atualidade, acho poucos motivos para pensar que algo assim venha a acontecer. A humanidade encontra-se longe de ter conflitos bélicos que possam deflagrar uma guerra de escala mundial com utilização massiva de armas nucleares. Apesar de todas as previsões contrárias, a humanidade criou técnicas de produção de alimentos para se abastecer integralmente. A saúde tem melhorado em todos os cantos do planeta elevando a média de anos de vida e diminuindo a mortandade infantil e prenatal. Mesmo doenças que no passado podiam acabar com a vida de milhões de pessoas, como o cólera ou alguns tipos muito complicados de gripe, hoje, apesar de ter muitas mais pessoas no mundo, não chegam a matar mais do que alguns milhares. Assim foi com o ebola na África e o cólera na América do Sul nos anos 90, com a gripe aviar na Ásia nos anos 2000, e em 2009 com a *gripe do porco* . Em 2010, depois de ter sido devastada por um terremoto, a cidade de Port-au-Prince, capital do Haiti, sofreu um surto de cólera. Podia ter-se esperado que centenas de milhares perdessem suas vidas nas extremas condições que suportam os habitantes de uma das cidades mais pobres do mundo. Mas depois de meses a cifra de mortos não supera os 3.000. Compare-se estes números com o milhão de pessoas mortas na Rússia entre 1847 e 1851 durante uma epidemia, mais de 15.000 por mês. Hoje temos um conhecimento mais preciso e efetivo de como limitar una epidemia.

O Apocalipse *derradeiro*, é a catástrofe ecológica, o *câmbio climático*. As vozes alarmantes veêm do âmbito científico esta vez. Gritam que em poucos anos mais as distorções ao meio ambiente criarão situações irreversíveis de consequências devastadoras para a vida em geral. **Nunca esteve tão perto o Apocalipse...** Tenho muitos motivos para pensar que as previsões do Painel Intergovernamental para o Câmbio Climático (IPCC) são exageradas e não têm base científica suficiente. Não sou o único e cada vez parece que somos mais. Outros terrores da humanidade são a escassez de alimentos, água e/ou insumos básicos como o combustível. A escassez de alimentos vem sendo anunciada há mais de 200 anos, e até agora a fome está ligada a uma distribuição desigual da riqueza. A falta de combustíveis costuma ser percibida pelas sequelas na economia: as gasolinas aumentam os preços, o que dispara um aumento generalizado, inflação, desemprego, etc. Mas estamos vivendo o mesmo filme desde os anos 70, e desde aquela época, a data da *última gota de petróleo* é adiada. Novas jazidas são descobertas, técnicas de extração são melhoradas. Ainda mais, os motores de combustão são aprimorados e precisam cada vez menos combustível. E lá vem os motores elétricos. O resultado é que o problema, delicado, parece sob controle. A questão d'água pode ser mais grave, e, no entanto, parece provocar menos paixões.

Nos anos 70 e 80, o maior temor da humanidade era acabar no meio de uma guerra nuclear. A série de filmes **Terminator** e **Mad Max** assim o testemunham, embora antes fez grande sucesso *O dia depois*. No nível científico foram realizadas muitas conferências, nas que eram apresentados resultados sobre as consequências de um intercâmbio massivo nuclear sobre o clima (*o inverno nuclear*). Eu mesmo participei da organização de um simpósio sobre o tema:

Cientistas, Paz e Desarmamento realizado na Facultad de Ciencias Exactas y Naturales da Universidad de Buenos Aires, em abril de 1988. O problema é realmente sério e atual (ver, por exemplo Ciencia para la Paz, de G. A. Lemarchand), mas sua importância ficou diminuída por outros temores e porque a sensação de perigo desapareceu junto com a União Soviética.

Num nível mais popular (e com isto considero seu impacto numa quantidade maior de pessoas) os recentes Apocalipses estiveram relacionados com a virada do milênio. Alinhamentos planetários mortais, colapso dos sistemas informáticos, e toda classe de pragas assolariam a Terra. A Idade Média foi prolífica em profecías apocalípticas, embora, apesar do que costuma afirmar-se, não durante a virada do ano 1000. Nessa época a maior parte do povo era iletrada, seguramente nem sabía em qual ano viviam. No entanto, alguns fatos chamaram fortemente a atenção. No ano 1000 um cometa *rasgou os céus e viu-se a figura de um dragão* segundo relatos da época. E durante a Páscoa do ano 1033, exatamente mil anos depois da Paixão de Jesus Cristo, um eclipse de Sol foi visto na Europa, amedrontando a população. Durante a Baixa Idade Média, principalmente da mão de Nostradamus e a publicação de seu livro *As Profecias* (1555), os augúrios de Fim de Mundo encontram o apogeu. As *quartetas* foram interpretadas livremente inúmeras vezes, encontrando significados diversos en cada ocasião. Um verdadeiro exercício da imaginação interpretativa! Mais perto de nossa era, nos Estados Unidos, diversos grupos religiosos cristãos profetizaram o Fim dos tempos: A Igrega Adventista do Sétimo Dia esperava o retorno de Jesus para 1843/1844 precedido por uma grande série de catástrofes naturais; a Congregação Cristã das Testemunhas de Jehová colocou como data do Apocalipse o ano 1914. Tanto os adventistas como as testemunhas de Jehová junto com o Movimento dos Santos dos Últimos Dias mais conhecido como *mórmons*, agora afirmam que o fim está próximo mas não sabem quando, e buscam os sinais permanentemente. Neste conjunto de previsões religiosas não podemos esquecer da série de romances, sucesso de venda, chamada em inglês Left Behind (*Deixados para trás*) escritas pelo ministro evangélico Tim LaHaye e o jornalista Jerry B. Jenkins, onde se relatam os últimos dias dos que não serão levados por Cristo ao Céu (por isso são *deixados para traś*) antes do Apocalipse e sofrerão um Inferno na Terra. Muitas pessoas leram os 16 livros da saga e acreditaram ter encontrado nos fatos diários (atentados, guerras, catástrofes naturais, políticas e econômicas) evidências do que os romances relatam.

Quando penso nos momentos em que a história pareceu se deter, enquanto a humanidade andava à beira do precipício, é quando mais fé tenho em que não há do que temer. O início do século XX foi marcado por uma guerra mundial que deixou **16,5 milhões de mortos**[1], a população de um país de tamanho médio. Esta guerra aconteceu em meio do colapso da forma de organização do estado mais importante na época: o império. Poucos anos depois de terminada a **Primeira Guerra Mundial**, a potência nascente, os Estados Unidos de América, entraram em rescessão profunda. O mesmo aconteceu com Alemanha, onde finalmente surgiu uma das ideologias mais perversas que já deu a luz a humanidade. Vinte anos depois do fim da *guerra para acabar com todas as guerras*, os canhões troaram novamente, e desta vez de forma mais feroz, para acabar com

[1] `http://en.wikipedia.org/wiki/World_War_I_casualties`, acesso em 13/06/2011

mais **50 a 70 milhões de vidas**[2] (2% da população mundial). O novo século foi parido em quase 50 anos de tragédias contínuas. *E no entanto, aqui estamos...* O fim chegará, que dúvida cabe, mas quem sabe, talvez nem estaremos sobre aviso. Para tal momento o homem pode ter cumprido seu desejo de visitar outros mundos, onde fundará novas sociedades. E então a *colônia base*, aquele *pálido ponto azul*, seja completamente abandonada quando se perceba que não é mais sustentável para a vida, talvez por causas puramente naturais. Existem muitas formas de pensar o fim da Terra, que não necessariamente implicam em catástrofes.

Supõe-se que o fim de 2012 será causado por um descontrole das forças da natureza. O campo magnético terrestre se inverterá subitamente com consequências devastadoras para os seres vivos. Esta mudança acontecerá em um momento em que o campo magnético do Sol também se inverterá. Ambos os processos se reforçarão mutuamente. A atividade do Sol se incrementará a limites nunca vistos, a radiação produzida durante explosões atacará os seres vivos em geral. O perigo maior, porém, vem do Centro da nossa própria Galáxia, um estranho alinhamento que acontece apenas cada 26.000 anos colocará em linha de tiro a Terra que receberá em cheio o jato de energia produzido no núcleo galáctico. Tudo isto está previsto na **Conta Longa** maia, um ciclo de mais de 5000 anos revelado aos habitantes originários de Mesoamérica.

E no entanto os cientistas, os homens que dia a dia analisam as observações, não acham os sinais do Apocalipse sucintamente descrito acima. O campo magnético terrestre é estável em períodos de centenas de milhares de anos e sua inversão completa pode levar uns 2000. E ainda mais importante, **é muito provável que o campo magnético terrestre se inverta e nem o percebamos**: se é mais fraco que o de um ímã de geladeira, por qué poderia ter consequências tão drásticas em nossas vidas sua variação? Não há nenhuma evidência científica sobre isto.

O mesmo acontece com a atividade solar. Mesmo se algumas agências científicas, principalmente norte-americanas, adotaram um discurso alarmista sobre as consequências de explosões solares, precavendo da possibilidade de falhas gerais nas comunicações e até na provisão de eletricidade, estas não chegam ao nível de uma hecatombe. O certo é que não existe motivo algum para o pânico. A atividade solar está em franca diminuição quando comparada com o ciclo anterior que teve seu pico entre 2001 e 2002. O máximo está previsto para maio de 2013 com um possível atraso de um par de meses e uma intensidade máxima que será um terço da anterior. Os trabalhos observacionais e téoricos sugerem que estamos indo para um período prolongado de baixa (ou nula) atividade solar, que terá seguramente impacto no clima. (Como já relatamos no capítulo 6)

E por último o *jato galáctico* nem sequer existe. Algumas galáxias chamadas *de Núcleo Ativo* (AGN) produzem poderosos jatos de partículas que são lançados desde o centro das mesmas. No entanto os jatos são perpendiculares ao plano galáctico que é onde se encontra a Terra, além do mais, a Via Láctea não é do tipo AGN, portanto não possui jato. Por outra parte o ciclo de 26.000

[2] `http://en.wikipedia.org/wiki/World_War_II_casualties`, acesso em 13/06/2011

anos, relacionado com a oscilação do eixo terrestre, produz uma orientação diferente, deslocando lentamente as estrelas no céu. **Porem, o Centro Galáctico está sempre frente a nossos olhos**. Não necessitamos esperar nenhuma conjunção estranha e única; cada noite, podemos vê-lo em sua total dimensão. Se o perdemos de vista é apenas por causa das luzes da cidade. Se um jato estivesse em nossa direção, já teria nos atingido éons de anos atrás.

8.3 O Fim do Fim

O 22 de dezembro de 2012 será um dia mais na vida de 7 bilhões de pessoas. Muitas delas estarão preparando as festas de Fim de Ano. O *Apocalipse* terá passado e alguns profetas deverão se explicar. No entanto gostaria saber que alguma coisa efetivamente terá mudado. Talvez tenha convencido algumas pessoas que não há Apocalipses próximos. Que temos uma doutrina chamada ciência que nos permite conhecer a natureza e seus efeitos e que construimos essa doutrina justamente para apartar o medo aos Apocalipses. Ao *Caos* opusemos o *Cosmos*. Essa doutrina não é uma construção apenas simbólica, tem pilares fortes, dos mais fortes que a mente humana possa criar, e é comprovada cada dia, quando ligamos uma lâmpada elétrica, quando acendemos o fogo quando viajamos de avião ou falamos ao telefone. Não precisamos ir a estranhos quartos especialmente condicionados nem olhar através de suspeitos aparelhos para nos convencer das afirmações científicas. Nossa vida está no meio das invenções criadas por meio desta doutrina, a mesma que garante que não haverá um Fim em 2012.

Se convenci alguém disto, meu trabalho terá sido útil.

Apêndice A

Notação Científica

Na astronomia os números podem ser muito grandes, o que dificulta sua leitura. Por exemplo o seguinte número 946.073.047.258.080.000 representa uma distância de um ano luz em centímetros. Lido é novecentos quarenta e seis quadrilhões setenta e três trilhões quarenta e sete bilhões duzentos cinquenta e oito milhões oitenta mil. Para descobrir se se trata de milhões, trilhões ou quadrilhões, estamos obrigados a contar os pontos. Por outra parte, se tratando de um número tão grande, não nos interessam os algarismo próximos da unidade. Falamos em algarismos significativos, que são os primeiros, aqueles que definem a *ordem de grandeza*. Os matemáticos criaram há muito tempo uma forma muito compacta de representar estes números gigantes por meio das potências de 10, chama-se **notação científica** e consiste em deixar apenas a unidade seguida dos decimais (a *mantisa*), multiplicada por uma potência de 10 que devolva a ordem de grandeza correta. O ano luz fica então:

$$9,4607304725808 \times 10^{17} \text{ cm} .$$

Esta forma de representar um número grande facilita sua comprensão, se lembramos que

10^6	milhão
10^9	bilhão
10^{12}	trilhão
10^{15}	quadrilhão
10^{18}	quintilhão

Quer dizer que um ano luz é quase 1 quintilhão de centímetros. Por outro lado não precisamos mostrar tantos decimais, já que, como dissemos antes, apenas os primeiros algarismos (começando pela esquerda) são importantes. Então um ano luz são $9,46 \times 10^{17}$ cm. Também é comúm utilizar um prefixo para indicar a *potência de dez*, a tabela abaixo mostra todos eles:

Potência			**Prefixo**	**Símbolo**
10^1	10	dezena	deca	da
10^2	100	centena	hecto	h
10^3	1.000	milhar	kilo	k
10^6	1.000.000	milhão	mega	M
10^9	1.000.000.000	bilhão	giga	G
10^{12}	1.000.000.000.000	trilhão	tera	T
10^{15}	1.000.000.000.000.000	quadrilhão	peta	P
10^{18}	1.000.000.000.000.000.000	quintilhão	exa	E
10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000	sextilhão	zeta	Z
10^{24}	1.000.000.000.000.000.000.000.000	setilhão	yota	Y

Poderia se falar então de novecentos quarenta e seis mil *peta* centímetros para o ano luz. Da mesma forma que expressamos os números miores que 1, podemos expressar os número menores que 1 em notação científica.

Potência			Prefixo	Símbolo
10^{-1}	0,1	décimo	deci	d
10^{-2}	0,01	centésimo	centi	c
10^{-3}	0,001	milésimo	milli	m
10^{-6}	0,000001	milionésimo	micro	μ
10^{-9}	0,000000001	bilionésimo	nano	n
10^{-12}	0,000000000001	trilionésimo	pico	p
10^{-15}	0,000000000000001	quatrilionésimo	femto	f
10^{-18}	0,000000000000000001	quintilionésimo	atto	a
10^{-21}	0,000000000000000000001	sextilionésimo	zepto	z
10^{-24}	0,000000000000000000000001	septilionésimo	yocto	y

A.1 Multiplicação

Multiplicar números escritos em notação científica é muito fácil. Por exemplo para calcular o ano luz devemos multiplicar $8,64 \times 10^4$ (quantidade de segundos durante um dia), por $3,65 \times 10^2$ (número de dias num ano) por $2,99 \times 10^{10}$ (velocidade da luz em cm/s). Por um lado multiplicamos as *mantisas*: $8,64 \times 3,65 \times 2,99 = 94,3$. Por outro , multiplicamos as potencias de 10, para isto apenas devemos somar os expoentes: $4 + 2 + 10 = 16$, ou seja que a ordem de grandeza é 10^{16}. No entanto é bom lembrar que a notação científica usa uma mantisa com só unidades. Transformamos $94,3 = 9,43 \times 10^1$. Multiplicando 10^1 por 10^{16} e juntando tudo obtemos o resultado final: $9,43 \times 10^{17}$ (A diferença entre este resultado e o anterior é que aqui arredondamos todos os números, incluindo a velocidade da luz).

A.2 Adição

Para somar números em notação científica, devemos tomar o cuidado de colocalos todos multiplicados pela mesma potência de 10, nesse caso, pode ser necessário a mantissa ter dezenas ou centenas, além de unidades. Por exemplo: $9,5 \times 10^3 + 3,4 \times 10^4 = 9,5 \times 10^3 + 34 \times 10^3 = 43,5 \times 10^3 = 4,35 \times 10^4$.

Apêndice B

Distâncias Astronômicas

A astronomia é uma ciência de duas dimensiones. Com exceção da Lua, e do Sol, os demais objetos parecem pontos a uma distância infinita e por isso os colocamos sobre uma abóbeda a distância desconhecida. Durante séculos a única preocupação era saber a posição do corpo celeste sobre esa abóbeda que fica determinada por dois números chamados de coordenadas celestes, cuja expresão atual são as coordenadas equatoriais. Durante séculos lutaram os astrônomos por calcular a distância até aquela abóbeda mas só recentemente, quando se começou a construir telescópios, pôde-se determinar com alguna precisão. Naturalmente já não falamos mais da abóbeda, exceto em termos figurativos, os corpos distribuem-se a diferentes distâncias, e o que nos parece uma figura (por exemplo as constelações) não mais é que um efeito de projeção.

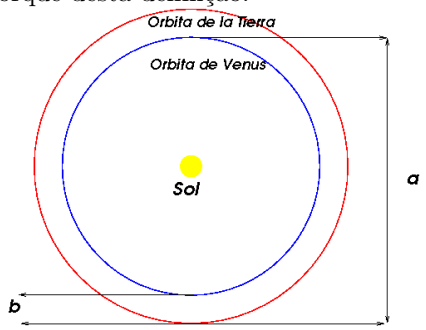
Determinar distâncias quando não podemos ir até o objeto é realmente uma tarefa difícil que nos obriga a usar todo nosso ingênio, tirando mão de teorias e modelos, fazendo hipóteses e arriscando conclusões. Em algúns casos só podemos determinar valores muito aproximados, em outros, os debates entre diferentes pesquisadores extendem-se por décadas. A continuação, uma lista de diferentes formas de se medir distâncias astronômicas junto com a definição de algumas unidades de medida muito empregadas na astronomia.

B.1 Medidas por Ecos

Enviar um sinal sobre o objeto cuja distância pretendemos medir, esperar que a mesma volte (eco) e medir o tempo que demorou em ir e voltar é uma forma muito precisa de se medir distâncias. O sinal pode ser uma onda rádio (ou seja que estamos usando um RADAR) ou luz. A vantagem das ondas de rádio é que não precisam de uma superfície muito lisa para produzir um reflexo bom e que possuimos sistemas capazes de detectar sinais muito fracas. Com sistemas deste tipo a distância da Terra a Vênus foi determinada com uma precisão de 1 km e a partir dela podemos inferir a distância ao Sol D_{ST}: para isso precisamos conhecer a maior e menor distancias ao planeta, e aplicar a seguinte fórmula

$$D_{ST} = \frac{a+b}{2} \ ,$$

onde a é a maior distância e b a menor distância a Vênus. A Figura abaixo ajuda a entender o porquê desta definição.



O valor da distância média Terra Sol resulta ser a definição de uma unidade de

medida chamada **Unidade Astronómica** (UA) e seu valor hoje em día aceito[1] é

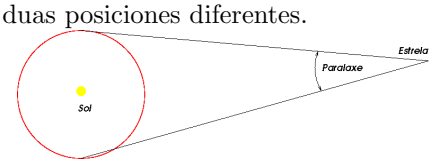
$$1\text{UA} = 149.597.870 \text{ km}$$

Normalmente arredondamos este número a UA $\simeq 1,5 \times 10^{11}$ m.

Uma luz láser é outra alternativa para obter um eco, porque tem uma maior coerência que a luz *normal* o que faz com que não se difunda muito, permitindo que uma proporção razoável da luz emitida volte para o laboratório. No entanto um láser precisa de um espelho de boa qualidade para refletir. Por isso tivemos que esperar até que os astronautas foram para a Lua e depositaram o *Laser Ranging Retro–Reflector* (LR-3, Retrorefletor para medir Distâncias com Láser). Com este espelho e pulsos lásers enviados desde a Terra pôde-se medir con grande precisão a distância até a Lua, e fazer até *selenoseismología*.

B.2 Paralaxe

O método do eco serve para medir distâncias muito curtas, distâncias maiores exigem métodos diferentes. Um deles é o método de *paralaxe*. Chamamos paralaxe à diferença (ou distância) angular produzida quando observamos um mesmo objeto desde diferentes posições. A figura abaixo mostra a ideia. O círculo vermelho representa a órbita da Terra, desde posições diametralmente opostas observamos um mesmo objeto, a paralaxe é o ângulo formado pelas linhas de visada em duas posiciones diferentes.



Quanto maior é a base (distância entre pontos de observação), mais longe poderá estar o objeto cuja distância desejamos conhecer. Como a Terra se move pelo espaço formando um círculo de 3×10^{11} m de diâmetro, esta será a maior base que podemos ter, sem sair ao espaço. A distância até o corpo celeste é determinada por trigonometria simples.

A partir do método da paralaxe, criou-se uma unidade de medida astronômica. Quando a paralaxe é 2 segundos de arco, a distância do objeto é *1 parsec*, cujo símbolo é **pc**, incluindo múltiplos como **kpc** ou **Mpc**. Um parsec corresponde, aproximadamente a 3,262 anos luz. Os astrônomos preferem o pc porque relaciona separação angular com distância. Geralmente se dá a definição em função de 1 UA e não de 2. Em outras palavras, a 1 pc de distância, uma separação angular de 1"corresponde a uma distância espacial de 1 UA. E também podemos usar uma fórmula simples:

$$d = \frac{1}{\tan(\pi)} \simeq \frac{1}{\pi} \ ,$$

onde d é a distância até o corpo celeste em pc e π é a paralaxe em segundos de arco. O último membro da equação é uma aproximação suficientemente precisa

[1] Encyclopedia of Astronomy & Astrophysics, Nature Pu., 2001

quando tratamos com objetos distantes e lembrar de medir a paralaxe usando uma base de 1 UA (esse é o sentido do número 1 no numerador da fórmula).

O uso de paralaxes permite uma medição direta e precisa das distâncias. Infelizmente fica limitado à vizinhança solar. Medir ângulos de segundos de arco é tarefa para telescópios bons, mas isso apenas nos permite determinar distâncias até 1 pc ou 3,262 anos luz. Telescópios muito bons conseguem medir paralaxes de décimos e, talvez, centésimos de segundo de arco. Mas com estas medidas, conseguimos inferir distâncias de até 10 o 100 pc o que é claramente insuficiente quando lembramos que a Via Láctea tem um tamanho de dezenas de milhares de pc.

B.3 Estrelas Variáveis

O brilho de algumas estrelas varia ao longo do tempo, as vezes de forma periódica. A finais do século XIX, a astrônoma Henrietta Leavitt, trabalhando para o observatório de Harvard, descobriu a relação qualitativa entre o brilho intrínseco das estrelas do tipo δ-Cephei, ou simplesmente *cefeidas* e seu período de variação. O descobrimento de Leavitt não pasou despercibido e rapidamente foi utilizado para descobrir distâncias às galáxias, previamente teve de ser calibrado. Edwin Hubble, por exemplo, usou cefeidas para demonstrar que as *nebulosas espirais* são objetos fora da Via Láctea e posteriormente para encontrar a famosa relação entre distância e velocidade de recessão, relação que mostrou a expansão do Universo e deu origem à Teoria do Big Bang.

A razão de porquê estas estrelas variam de forma periódica seu brilho está muito bem explicada pelos modelos estelares, portanto podemos confiar na determinação do brilho intrínseco da estrela (desde que as calibrações sejam corretas). Uma vez determinado este brilho, é comparado com o brilho observado, a diferença entre ambos deve-se à distância que nos separa da estrela porque sabemos que o brilho decai com o quadrado da distância que nos separa. Por outra parte as cefeidas são estrelas do tipo *supergigantes*, isso faz com que sejam muito brilhantes e relativamente fáceis de localizar mesmo em galáxias muito distantes. A medida que os telescópios foram aumentando o seu tamanho, distâncias a galáxias mais afastadas foram determinadas por meio de cefeidas, com valores de até milhões de pc.

B.4 Distâncias Cosmológicas

A forma de determinar as maiores distâncias é por meio da relação de Hubble

$$v = H_\circ \times d \ ,$$

onde v é a velocidade de recessão de um objeto muito longe e d sua distância desde a Terra. A constante $H_\circ$ é chamada *Constante de Hubble* e o seu inverso

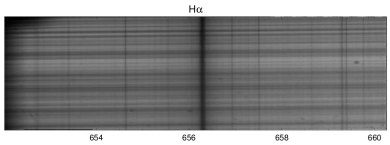
representa a idade do Universo. O valor atual da constante de Hubble é[2]:

$$H_\circ = 71,9 \text{ kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1} \ ,$$

que significa que a cada 1 Mpc de distância da Terra, os objetos aumenta em 71,9 km s^{-1} sua velocidade de afastamento. Para usar a fórmula de Hubble precisamos conhecer a velocidade v, o que pode parecer muito complicado. No entanto em astrofísica, medir velocidades de aproximação ou afastamento, quer dizer, velocidades na linha de visada, é relativamente simples e incrívelmente preciso. Para entender o porquê devemos saber um pouco de teoria atômica e de efeito Doppler.

B.4.1 Teoria Atômica

Dentro dos átomos, os elétrons ocupam órbitas especificadas pela energia que têm. Quando um evento externo lhes transfere energía (por exemplo por meio de luz, ou pela colisão com outra partícula) ou a vezes de forma espontânea o elétron muda de órbita, ganhando ou perdendo energia. Se passa a uma órbita de menor energia, emitirá luz com uma frequência e comprimento de ondas (*cor*) muito precisos, se pelo contrário pasa a uma órbita de maior energia, absorve luz numa frequência específica (também pode absorver energia de uma partícula, nesse caso não produzirá linha espectral). Este é o princípio da ¡i¿formação de linhas espectrais¡/i¿ como as que se vêem na figura abaixo, registradas no Sol por mim em outubro de 2009 usando um espectrógrafo de dispersão simples e uma rede de difração de 1.200 linhas/mm no foco de um celostato de 30 cm de abertura instalado no Complexo Astronômico El leoncito (CASLEO), na Argentina, trabalhando junto con meu colega Rogério Marcon. As linhas verticais escuras são linhas espectrais em *absorção*, as linhas horizontais são irregularidades na ranhura do espectrógrafo.



Os números abaixo da figura são os comprimentos de onda em nm (nanometros) a linha vertical no centro e mais larga é a chamada *linha de* Hα, uma das linhas mais importantes do espectro solar, formada na transição do nível 2 para o 3 do âtomo de hidrógênio.

B.4.2 O Efeito Doppler

Quando uma fonte de ondas se desloca, a frequência percebida por um observador em repouso é diferente da emitida. Este princípio, descoberto pelo astrônomo austríaco Christian Andreas Doppler vale tanto para ondas sonoras como luminosas. Em geral, um objeto que se afasta aumenta o comprimento da onda por ele emitida, enquanto que o contrário acontece com um objeto que

[2] `http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/current/params/lcdm_sz_lens_wmap5.cfm`: Wmap Cosmological Parameters, acesso em 23/11/2009

se aproxima. Quando a onda é luz, aumentar seu comprimento de onda a faz mais vermelha, daí o nome de *desvio para o vermelho* ou *redshift* em inglês, para os objetos que se afastam da Terra. Usando espectros como o mostrado acima, pode-se determinar a velocidade de recessão (ou aproximação) com a precisão de alguns m s¡sup¿-1¡/sup¿ já que a fórmula de Doppler (não relativística) é¡br¿

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda_\circ} = \frac{v}{c} \ ,$$

onde $\Delta\lambda$ é a variação em comprimento de onda observada (medida no espectro menos medida em laboratório), $\lambda_\circ$ é o comprimento de onda de laboratório, v é a velocidade de recessão e c é a velocidade da luz.

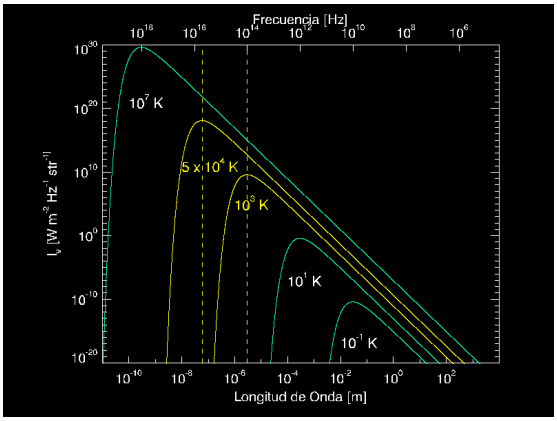
O *redshift* é a única forma de se determinar a distância aos objetos mais longínquos do Universo, os chamados **Quasares**, galáxias de núcleo ativo a distâncias de bilhões de anos luz, já que não há telescópio suficientemente poderoso para poder observar cefeidas dentro delas.

(Comentário muito controvertido. Desde que os quasares são observados na década de 60, o astrônomo Halton Arp afirma que sua distância determinada por redshift é incorreta e presentou um grande número de provas ao respeito. A comunidade astronômica tem sido muito cética às evidências de Arp. Quem quiser ver um documentário sobre a versão de Arp, pode buscar o filme *The Cosmology Quest* de Randall Meyer. Eu não sou especialista em Cosmologia, mas me pareceu mais honesto mencionar aqui este debate científico.)

Apêndice C

Radiação de Corpo Negro

O espectro de corpo negro é representado pela *função de Planck*, que diz quanta luz é emitida para cada comprimento de onda e depende apenas da temperatura do corpo, independentemente do material de que é composto. Abaixo mostramos exemplos de funções Planck. Cada curva representa um corpo negro a diferente temperatura: de milhões a um décimo de grau Kelvin. Como pode se ver, todo corpo emite radiação eletromagnética. Ao aumentar a temperatura: (1) a intensidade aumenta e (2) o pico de emissão acontece em comprimentos mais curtos (Lei de deslocamento de Wien). Além destas duas características, as curvas não se cruzam. As curvas amarelas representam a emissão para os limites de temperatura de superfície característicos de uma estrela: entre 1.000 K e 50.000 K.



No primeiro caso a intensidade máxima se dá para $\lambda = 2,9$ μm (infravermelho) e no segundo para $\lambda = 58$ nm (Ultravioleta extremo, quase raios-X). Como pode se ver no gráfico, uma estrela *quente* emite em rádio ($\lambda = 1$ cm) 3×10^{-20} vezes a energia que emite em seu comprimento de onda máximo. No caso de uma estrela *fria* esta relação melhora um pouco, mas ainda é muito pequena, 2×10^{-12}. Por esta razão, vamos continuar a estudar as estrelas principalmente com telescópios ópticos. O caso do Sol é diferente porque, apesar de ser uma estrela *fria*, está muito próximo e, portanto, pode ser visto em toda a faixa Electromagnética com instrumentos não muito sensíveis.

O fluxo bolométrico de uma estrela, ou seja, a energia por unidade de tempo e área emitido por uma estrela em todos os comprimentos de onda é dado pela seguinte lei

$$F = \sigma T^4 \ ,$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ WK^{-4}m^{-2} é a constante de Stefan–Boltzmann e T é a temperatura em graus K. O brilho de uma estrela

$$L = F \times \text{area} = \sigma T^4 4\pi R_*^2 \ ,$$

onde R_* é o raio da estrela. Da fórmula vemos que o brilho de uma estrela aumenta com a quarta potência da **temperatura**, mas também com o quadrado do bf Raio. Então, entre duas estrelas de temperatura igual, será mais brilhante a maior.