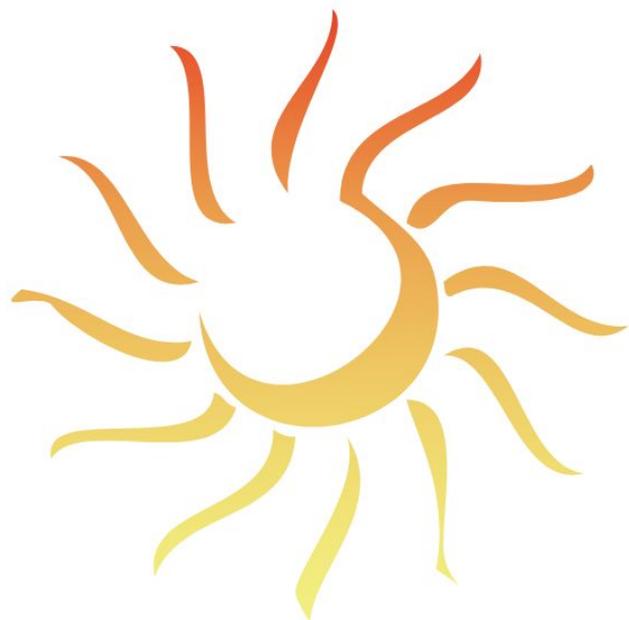


VERSÃO DO
PROFESSOR



GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Carlos I. F. Fehlberg
José Bohland Filho
Claudia A. C. A. Lorenzoni



GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

VERSÃO DO PROFESSOR

Carlos Ivan Falcão Fehlberg

José Bohland Filho

Claudia Alessandra Costa de Araujo Lorenzoni

SUMÁRIO

1. Sequência didática
 2. Roteiro de construção de relógio solar
 3. Marcação do tempo
 4. Orientações para o texto “Marcação do tempo”
 5. Roteiro de construção de calendário
 6. Orientações sobre o Calendário Guarani e “Movimento do Sol”
 7. Roteiro de Utilização do Stellarium
 8. Cosmo Guarani
 9. História do Modelo de Universo
 10. Orientações para o texto “História do Modelo de Universo”
 11. Lei da Gravitação Universal
 12. Fenômeno das Marés
- Referências

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

MNPEF - IFES

Inserção da Etnoastronomia Guarani em aulas de Física

Prof. Carlos Ivan Falcão Fehlberg

Competências a serem desenvolvidas:

Compreender a Ciência como construto histórico-cultural, sendo capaz de confrontar interpretações e modelos de contextos distintos, especialmente o modelo científico, os modelos históricos e o modelo Guarani.

Avaliar os impactos da Ciência no modo de vida e no meio ambiente, com o objetivo de adotar uma postura crítica quanto ao papel da Ciência, tomando como referência as ideias de sustentabilidade Guarani.

Lidar com diversas formas de produção científica, compreendendo esta enquanto uma forma de se produzir conhecimento e não apenas como seus resultados.

Compreender os elementos que constituem a Astronomia enquanto ciência e articulá-los na explicação de fenômenos.

Conteúdo	CH
Origens da Astronomia: caráter cultural, observação do céu, marcação do tempo.	2
Movimentos do Céu: astros mais relevantes, seus movimentos, consequências na Terra	2
Modelos de Céu: origens dos movimentos, composição do Universo, origem do Universo	2
Gravitação: relação com movimentos do Céu, construção matemática, fenômenos relacionados	2

Desenvolvimento do tema

Aula 1 - Aula Dialógica Coletiva - Origens Culturais da Astronomia

1. Apresentação da unidade
 - a. Estudo da Astronomia
 - b. Caráter cultural
 - c. Indígenas

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

2. Questionamentos
 - a. O que é Astronomia? O que ela estuda?
 - b. Qual a origem da Astronomia? Quando e como ela surgiu?
 - c. A Ciência é influenciada pela cultura? Como isso se dá na Astronomia?
 - d. É possível falar em uma Astronomia Indígena? Como ela é?
3. Direcionamentos
 - e. Leitura do texto “Marcação do tempo”

Aula 2 - Elemento Experimental - Calendários

1. Discussão introdutória
 - a. Verificação de leitura
 - b. Pontos de destaque pelos alunos
2. Marcações do tempo
 - a. Separação em grupos
 - i. Calendário lunar
 - ii. Calendário solar
 - iii. Calendário sideral
 - iv. Calendário lunissolar
 - v. Calendário cultural
 - b. Construção
 - c. Apresentações dos alunos
 - d. Apresentação de calendário Guarani e do vídeo “Movimento do Sol”

Aula 3 - Elemento Audiovisual - Movimentos do Céu

1. Discussão introdutória
 - a. Que movimentos o céu faz?
2. Produção de vídeos e simulações
 - a. Separação em grupos
 - i. Dia e Noite
 - ii. Fases da Lua
 - iii. Nascer do Sol
 - iv. Constelação do Homem-Velho
 - v. Constelação da Ema
 - b. Construção ou seleção das simulações
 - c. Construção dos roteiros
3. Direcionamentos
 - a. Gravação das narrações e possíveis partes em vídeo
 - b. Envio para o professor

Aula 4 - Elemento Audiovisual - Mostra Audiovisual

1. Apresentação
 - a. Pequena apresentação de cada grupo
 - b. Comentários e dúvidas da turma e do professor
2. Direcionamentos
 - a. Leitura do texto “Cosmo Guarani”

Aula 5 - Elemento Textual - Cosmo Guarani

1. Discussão introdutória
 - a. Verificação de leitura
 - b. Pontos de destaque pelos alunos
2. Produção dos textos
 - a. Separação dos grupos
 - i. Origem do mundo
 - ii. Visão de mundo
 - iii. Sol
 - iv. Lua
 - v. Constelações
 - b. Construção do esqueleto dos textos
3. Direcionamentos
 - a. Finalização dos textos e envio
 - b. Leitura do texto “História do Modelo de Universo”

Aula 6 - Elemento Textual - História do Modelo de Universo

1. Discussão introdutória
 - a. Verificação de leitura
 - b. Pontos de destaque pelos alunos
2. Produção dos textos
 - a. Separação dos grupos
 - i. Aristóteles e Ptolomeu
 - ii. Ockham e Colégio de Merton
 - iii. Galileu
 - iv. Tycho e Kepler
 - v. Hooke, Huygens e Newton
 - b. Construção do esqueleto dos textos
3. Direcionamentos
 - a. Finalização dos textos e envio

Aula 7 - Elemento Matemático - Lei da Gravitação Universal

1. Discussão introdutória
 - a. Causa do movimento dos astros
 - b. Repassando por Leis de Newton
2. Lei da Gravitação Universal
 - a. O que ela deve conter?
 - b. Em que podemos nos apoiar?
 - c. Proposta de Newton
 - d. Interpretação
 - e. Alguns resultados
 - i. Constante de Proporcionalidade em Kepler
 - ii. Aceleração da gravidade na Terra
 - iii. Altitude de satélites em órbita
3. Direcionamentos
 - a. Votar na enquete “O que causa as marés?”

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Aula 8 - Elemento Matemático - Fenômeno das Marés

1. Discussão introdutória
 - a. Verificação de votação
 - b. Resultado da enquete
2. Histórico
 - a. Explicações ocidentais
 - b. Marés e latitude
 - c. Explicação dos indígenas
3. Força de Maré
 - a. Aplicação da Lei da Gravitação Universal
 - b. Fases da Lua
 - c. Comparação das forças
 - d. Resultados
4. Direcionamentos
 - a. Produzir pequenos cartazes sobre Gravitação e Marés

Aula 9 - Exposição do Conteúdo - Painel "Etnoastronomia Guarani"

1. Construção do Painel
 - a. Relógios e Calendários
 - b. QR Code pros vídeos
 - c. Textos
 - d. Cartazes com equações, desenhos e gráficos

Aula 10 - Avaliação - Ciência, Cultura e o povo Guarani

1. Questionário
 - a. Questões discursivas
 - b. Pequenas dissertações
 - c. Proposição de problemas
2. Finalização
 - a. Encaminhamento para auto-avaliação

ROTEIRO DE CONSTRUÇÃO DE RELÓGIO SOLAR

Um dos instrumentos mais básicos de medida do tempo é o relógio. O primeiro tipo de relógio a ser construído foi o relógio solar. Ele permite acompanhar o passar do dia através da sombra de algum objeto. Vamos construir um simples, usando apenas papel e fita adesiva.

1. Materiais para o relógio

Vamos precisar de um pedaço de papel e um pouco de fita adesiva. Em geral, meia folha de caderno é o suficiente para o relógio e apenas um pedaço pequeno de fita.

2. Construindo a base do relógio

A base do nosso relógio será um pedaço de papel retangular, com aproximadamente três dedos de largura por oito de comprimento. Podemos usar uma régua para cortar um pedaço de 5 cm por 15 cm, aproximadamente. As dimensões não precisam ser precisas, desde que o papel seja retangular e grande o suficiente.

3. Construindo o ponteiro do relógio

O ponteiro do nosso relógio também será um pedaço de papel. Dessa vez, recorte um papel bem fino e com uns seis dedos de comprimento. Pode fazer, se tiver uma régua, um papel de 1 cm por 10 cm.

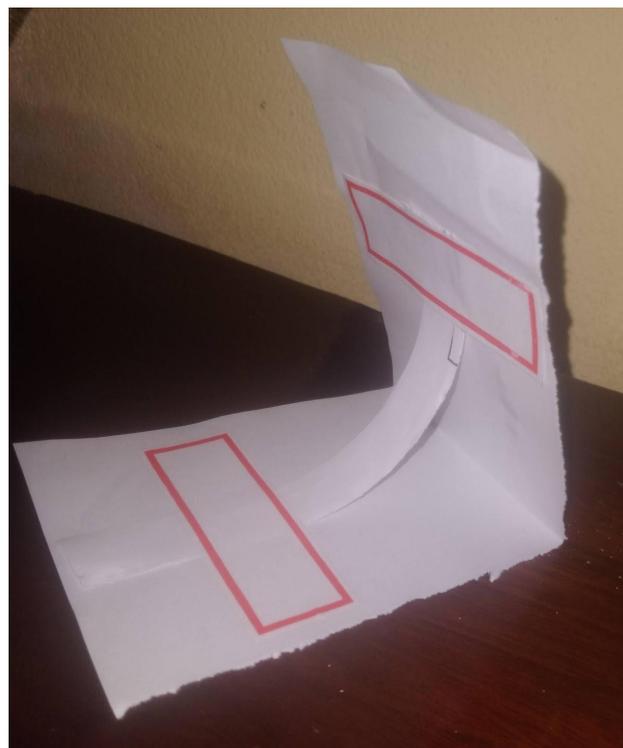
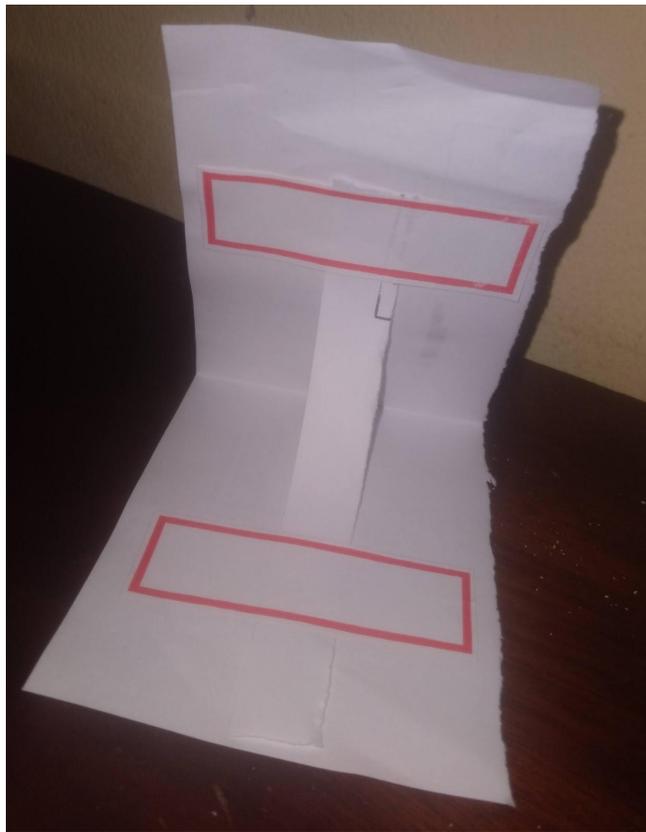
4. Montando o relógio

Dobre a base ao meio ao longo da largura. No meio de cada aba, cole a ponta do ponteiro, de forma que não consiga mais abrir a base por completo. Se precisar, corte o excesso de papel do ponteiro após a colagem. Veja a imagem abaixo de exemplo.

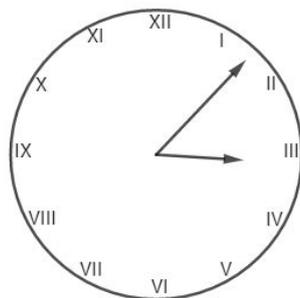
5. Utilizando o relógio

Vá a um local com sol e procure o Ponto Cardeal Sul. Aponte o relógio para este ponto, alinhando o ponteiro com a direção norte-sul. A sombra feita pelo ponteiro na base do relógio serve para indicar as horas.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI



MARCAÇÃO DO TEMPO



Provavelmente quando falamos em tempo, uma imagem parecida com a acima vem na cabeça da maioria de nós: um relógio. Nós marcamos o tempo em nossas vidas com várias finalidades: organizar nossa rotina, nossos compromissos, saber datas como o aniversário de casamento, horários como a hora de tomar um remédio, marcar a duração de eventos como filmes e viagens. E pra isso nós utilizamos relógios, calendários, agendas, cronômetros. Uma diversidade de métodos é usada para acompanhar, marcar e medir a passagem do tempo em nossa vida cotidiana.

Agora, quando precisamos dizer o que é o tempo, a história é outra. Alguns diriam que é a passagem das horas, dias; outros que é a sensação de mudança que há em nossa vida. Mas o que sabemos é que o tempo é um conceito presente na Física e que se faz indispensável em toda nossa vida. Para entendermos melhor, podemos tentar acompanhar o surgimento do conceito e do estudo do tempo.

O ser humano, observando o mundo que o cercava e tentando dominá-lo para garantir sua sobrevivência enquanto indivíduo e espécie, percebeu algumas coisas interessantes. Primeiro que as coisas estão sempre mudando: objetos se movem, pessoas envelhecem, árvores crescem, rios correm, a areia desce em uma ampulheta.

Outra percepção é a da existência de ciclos dentro dessas mudanças: o sol some e aparece sempre ciclicamente, a chuva vai e vem, as estrelas caminham no céu, as pessoas e os animais têm ciclos reprodutivos. Essa ideia de repetição se liga também ao sagrado: aquilo que é sagrado, como o céu e os rituais, não muda. A mudança aparente é apenas o começo de um novo ciclo.

Foi usando especialmente esses ciclos que o ser humano começou a realmente medir a passagem do tempo. O nascer do sol indicava o começo de um novo dia. A lua nova, o começo de um novo mês. A chegada da primavera, o começo de um novo ano. Mas não era só isso.

MARCAÇÃO DO TEMPO

As estações diziam quando eles podiam caçar, plantar, colher e pescar. O momento do dia dizia se era o momento de trabalhar ou de descansar, se abrigar. A fase da lua dizia se era maré boa ou ruim, noite de caça ou não. O tempo não era só a repetição dos ciclos, mas determinava como as pessoas viveriam. Não só essas atividades mais práticas, mas rituais, festas e atividades religiosas em geral também ocorriam em momentos muito específicos.

Para acompanhar tais ciclos e organizar suas atividades de acordo com eles, o ser humano foi criando instrumentos. Os calendários sempre foram uma forma importantíssima de marcar a passagem do tempo, nesse sentido.

Um tipo de calendário é o lunar, ou seja, que só se preocupa com as fases da Lua. Pode até haver o correspondente a um ano de quatro estações, mas essa não é a preocupação. Esse calendário serve para acompanhar as fases da Lua e regular as atividades que dependem, de alguma forma, dela. Um exemplo é o calendário árabe, mantido sempre ajustado por observações e cálculos precisos. Abaixo temos uma correspondência entre o calendário árabe e o nosso, chamado gregoriano, para 2021.

Mês e Ano	Início correspondente no gregoriano
Jumada al-thani 1442	14/01/2021
Rajab 1442	13/02/2021
Shaban 1442	15/03/2021
Ramadan 1442	13/04/2021
Shawwal 1442	13/05/2021
Dhu al-Qidah 1442	12/06/2021
Dhu al-Hijjah 1442	11/07/2021
Muharram 1443	10/08/2021
Safar 1443	08/09/2021
Rabi al-awwal 1443	08/10/2021
Rabi al-thani 1443	06/11/2021
Jumada al-awwal 1443	06/12/2021

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Também existem calendários que se preocupam com as estações do ano. Um deles é o calendário solar. Ele busca acompanhar as estações do ano seguindo, por exemplo, o ponto onde o Sol nasce. Calendários desse tipo são raros e mais raros ainda os que funcionam para o ano inteiro ou por muito tempo. Podem se basear, por exemplo, em alinhamentos do nascer do Sol.

Ainda falando de calendários que seguem as estações do ano, há o calendário sideral. Ele se baseia em acompanhar o movimento anual de uma determinada estrela, constelação ou outro objeto do tipo. Isso é possível porque ao longo do ano os horários em que uma estrela está visível vão mudando. Assim as estações podem ser acompanhadas vendo a primeira ou a última aparição de uma determinada estrela ou constelação. Isso não necessariamente tem a ver com o horário de nascimento ou ocaso, apenas, pois envolve também os horários de nascimento e ocaso do Sol, que normalmente ofusca tais estrelas.

Existem ainda calendários que se preocupam com o alinhamento dos dois ciclos, ou seja, os meses sinódicos e as estações: são os calendários lunissolares. Independente se as estações são acompanhadas com o sol ou estrelas, os calendários se chamam lunissolares. Em geral, cada mês corresponde ao mês sinódico, ou seja, às fases da Lua. Os doze meses, entretanto, não formam o ciclo das quatro estações e, portanto, periodicamente adiciona-se um 13º mês, ou alguma outra forma de compensação.

Junto a todos esses está o que podemos chamar de calendário cultural. Esse é o calendário que acompanha os fatos que marcam um determinado grupo. O calendário escolar, com as datas de aulas e férias; o calendário da igreja, com Natal, Páscoa e outras datas religiosas; o calendário da sua casa, com os aniversários das pessoas que moram com você. Esses calendários se preocupam com atividades humanas, coletivas.

Um calendário “final” seria a junção do astronômico com os culturais. Eles se preocupam em sincronizar e ajustar todas as datas, astronômicas, civis, escolares e pessoais. A “folhinha” atrás da porta é um exemplo: além de acompanhar o ano solar, ela aponta as fases da Lua, as datas comemorativas mais importantes e você pode usar para anotar datas importantes para você.

Espero que agora você veja os calendários e a própria passagem do tempo como construções e ideias essencialmente humanas. Se nós não estivéssemos aqui, o tempo passaria da mesma forma, o céu continuaria seu movimento, mas ninguém estaria aqui para determinar quando é o Ano Novo, seu aniversário ou quando começa julho.

ORIENTAÇÕES PARA O TEXTO

“MARCAÇÃO DO TEMPO”

A ideia central do texto “Marcação do Tempo” é ressaltar a ligação existente entre o conceito físico de tempo e a vida prática dos povos. Hoje em dia essa ligação pode parecer perdida, mas ainda se faz presente de forma sutil e nem sempre refletida. Para apresentar essa relação, trabalharemos as formas de marcar o tempo existentes entre povos tradicionais e como elas se relacionam com as atividades práticas do povo (trabalho, religiosidade).

O conceito de tempo não existe alienado aos conhecimentos e comportamentos mais materiais dos povos, especificamente dos indígenas. Deixa de ser, a partir de uma visão antropológica, um elemento universal e objetivo e passam a ser um conceito subjacente nas práticas, narrativas e explicações dos indígenas (IWANISZEWSKI, 2015).

Isso, com certo alcance, se aplica mesmo aos grupos urbanos atuais. A marcação do tempo não se dá apenas de forma que se pretende objetiva, mas também de forma subjetiva. Organizar nosso horário e nosso calendário de acordo com nossas atividades e compromissos é um exemplo disso.

Assim, mesmo que não possamos constatar a existência física do tempo de forma direta, sua existência está imbricada em nossa própria existência. Não apenas o fazer científico o supõe, como o existir cotidiano o assume. Nossos conhecimentos e comportamentos são inteiramente conectados a existência do tempo (BORGES, 2003).

A conexão entre os acontecimentos da vida cotidiana e os fenômenos astronômicos, em geral periódicos e regulares, permitiu a construção do conceito de tempo e sua marcação em torno de tais fenômenos de forma segura. Tal construção se dá, de forma geral, através da observação de três ciclos básicos: dia e noite, fases da lua e estações do ano. Desses ciclos nascem as ideias de dia, mês e ano. O registro dessas sucessões e repetições constituem os calendários, que incluem não só estes elementos, mas todos que marcam a passagem e repetição do tempo, como rituais, festividades, atividades laborais. Assim, para além de medir unidades temporais, a marcação do tempo servia para organizar a vida humana e sincronizá-la com a natureza (IWANISZEWSKI, 2015).

Devemos tomar cuidado ao buscarmos as conexões entre o evento astronômico e algum outro tipo de evento. Por mais que em muitos exista uma correlação de ordem física, ou seja, observável pelos padrões científicos, essa correlação pode ser substituída ou encoberta por uma explicação de ordem cosmológica, ou seja, ligada à visão de mundo do povo que a construiu (RUGGLES, 2015).

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

O menor dos ciclos básicos é o dia, em geral marcado como dia solar, ou seja, período que se passa para que o sol esteja à mesma altura no céu novamente. Dado que os povos tradicionais possuíam como principal fonte de iluminação o Sol, foi seu ciclo diário de luminosidade que definiu o momento para o trabalho, para o descanso, para atividades religiosas. Essa regulação da vida diária pelo sol se mantém até hoje, como bem sabemos.

Um ciclo intermediário é o mês, contado como a repetição das fases da lua. O ciclo mensal de luminosidade interferia nas atividades noturnas, tanto pela possibilidade de enxergar como pela quantidade de insetos e outros animais que saem. Além disso, as marés têm um papel fundamental na regulação dos ciclos da vida marinha e a relação entre marés e as fases da Lua é especialmente conhecida entre povos tropicais.

Um ciclo maior é o ciclo sazonal, ou seja, a passagem e repetição das mudanças climáticas que representam as estações. Costumamos falar em quatro estações (primavera, verão, outono, inverno), mas em zonas tropicais essa distinção não é muito clara. Tais estações podem ser acompanhadas pelo caminho das estrelas ou pela posição de nascer e ocaso do Sol. Ela que separa tempos de plantar e colher, caçar, pescar, festivais, aniversários e várias outras atividades que, de forma direta ou indireta, dependem da estação, do clima.

Esses três ciclos se encontram na construção da maioria dos calendários, porém eles não se ajustam perfeitamente. O mês e o ano tem números não inteiros de dias, e o ano tem um número não inteiro de meses. Isso causa um descompasso progressivo entre datas. O calendário então tem a função de buscar sincronizar tais ciclos descompassados para sincronizar também as datas de atividades sociais diversas, como festividades e reuniões. A forma como o calendário é construída depende de como é feita a referência às datas, ou seja, se há um, qual fenômeno astronômico indica determinada data (RUGGLES, 2015).

Um tipo de calendário é o lunar. Por mais que em muitos deles exista uma ideia de ano, motivada pelas mudanças sazonais, o calendário não se preocupa em se ajustar a elas. O calendário lunar recebe esse nome justamente por apenas se preocupar em seguir os meses sinódicos, ou seja, as repetições das fases da lua. Em geral, cada mês começa com a primeira aparição da lua crescente. Um exemplo é o calendário árabe.

Dentre os calendários que se preocupam com as estações, há dois tipos. O primeiro tipo é dos calendários solares. Eles se constituem acompanhando o caminhar do sol ao longo do horizonte durante o ano. Em geral são compostos por sistemas de alinhamento, mas poucos destes são documentados que funcionam bem e durante todo o ano.

ORIENTAÇÕES PARA O TEXTO “MARCAÇÃO DO TEMPO”

O segundo tipo, mais comum, são os calendários siderais. Eles acompanham uma estrela, constelação ou um conjunto. Datas em que o nascer ou o ocaso da estrela se dá em horários e condições específicas são as datas que marcam a passagem do ano, seu início ou uma nova etapa. Em geral, a escolha da estrela como marcadora da passagem do tempo e a narrativa cronológica a ela relacionada são profundamente conectadas.

Existem também os calendários chamados lunissolares. Nesse tipo de, o mês sinódico ainda se faz presente, porém há a tentativa de sincronização com o ano sazonal. Para isso, periodicamente (em um período de alguns anos) é adicionado (ou subtraído) um mês. Assim, o tempo de diferença entre os meses sinódicos e o ano sazonal vai se acumulando e, posteriormente, é compensado. Para a marcação do mês se utilizam as técnicas do calendário lunar e para a marcação do ano, dos calendários solar ou sideral.

Não devemos esquecer duas coisas: esses calendários podem coexistir em um grupo e junto a eles sempre haverá um calendário que podemos chamar de social ou cultural. Ele sincroniza aos eventos astronômicos em questão atividades do grupo, como festividades, datas comemorativas e datas de rituais. Não é nenhum dos tipos acima, mas funciona em conjunto a eles, elaborando um calendário maior, do grupo, que engloba ambos os aspectos, natural e social. Temos como exemplo, ainda hoje, o Calendário Litúrgico de algumas igrejas cristãs.

ROTEIRO DE CONSTRUÇÃO DE CALENDÁRIO

Agora que você conhece o significado cultural dos calendários e os tipos que existem, astronômicos ou não, vamos construir os nossos próprios instrumentos de marcação do tempo.

1. Tipo

Monte um grupo de até x pessoas e, juntos, escolham um dos tipos de calendário (lunar, solar, sideral, lunissolar ou cultural) para montar.

2. Determinando datas e ciclos

Baseados no tipo de calendário escolhido, determinem o ciclo que vão acompanhar e o dia que marcará o início de tal ciclo.

Ex.: calendário baseado nas datas religiosas que segue o ano, e começa no Natal.

3. Acompanhando o ciclo

Determinem duas formas de acompanhar o ciclo: uma que vão usar para construir em sala o calendário e outra que pode ser usada numa validação do calendário.

4. Construindo o calendário

Construam um calendário baseado no método que escolheram que se aplique a todo o ano corrente, como no exemplo do calendário árabe do texto.

5. Adicionando elementos pessoais

Adicionem no calendário datas importantes para o grupo, como o aniversário dos integrantes ou outras datas marcantes para vocês.

ORIENTAÇÕES SOBRE O CALENDÁRIO GUARANI E “MOVIMENTO DO SOL”

O calendário Guarani é o calendário usado pelos Guarani brasileiros, construído a partir de suas vivências e necessidades práticas. Essencialmente é um calendário solar e cultural, ou seja, acompanha as estações do ano e as atividades dos Guarani relacionadas a cada estação.

Para seguir as estações, o calendário segue o movimento do Sol ao longo do ano, observando a posição de seu nascimento. O ano é representado pelo ciclo desse movimento periódico do nascimento do Sol.

Por uma característica do clima tropical brasileiro, apenas duas estações são mais perceptíveis: uma estação com chuvas e quente e outra seca e fria. Os Guarani chamam a primeira de *ara ymã* e *ara pyau*.

Ara Ymã (tempo velho) corresponde parcialmente às estações ocidentais do outono e inverno, enquanto *Ara Pyau* (tempo novo) se relaciona com a primavera e o verão.

O tempo velho é o tempo de preparação da terra, construção das habitações, preparação para o frio e a passagem deste. O tempo novo se inicia com celebrações e rezas, cerimônias de batismo de alimentos e crianças. Com isso vêm as plantações, a colheita, as chuvas, o período de reprodução dos animais.

A partir da observação do movimento do Sol que os Guarani conseguem acompanhar a passagem das estações. Essa observação é designada como uma função religiosa, sendo desempenhada na Casa de Reza, como a da imagem abaixo. Esta, por isso, precisa estar com sua porta virada para o leste, de forma que o nascer do sol possa ser visto por ela. A aldeia é construída em volta da casa de reza, deixando o lado leste (sua frente) livre para a observação.



GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

O vídeo “Movimento do Sol” traz a posição diária do sol ao longo do ano, de forma que a cada dia ele tenha a mesma altura em relação ao horizonte. Cabe notar, que os horários também variam, já que a cada dia o Sol nasce em um horário diferente.

O vídeo pode ser reproduzido em *loop*, mas na versão que apresentamos, ele se inicia com o sol nascendo no ponto mais ao norte de sua trajetória. Isso marca o solstício de inverno, que acontece por volta do dia 21 de junho e delimita o fim do outono e início do inverno. A partir desse momento, os dias vão ficando cada vez mais longos, com o sol nascendo mais cedo e se pondo mais tarde.

Quando o Sol passa exatamente pelo meio de sua trajetória, ponto este que representa o ponto cardinal leste, temos um equinócio. O de primavera aparece primeiro no vídeo, quando o sol está indo em direção ao sul. Depois o Sol passará novamente por este ponto, em direção ao norte, marcando agora o equinócio de outono. Nesses momentos, que ocorrem por volta dos dias 21 de setembro e 21 de março, respectivamente, o dia tem exatamente a mesma duração da noite, daí o termo equinócio (*equi* vem de igualdade).

O ponto em que o sol está mais ao sul em sua trajetória marca o solstício de verão, ou seja, por volta do dia 21 de dezembro, quando o verão está se iniciando e os dias vão ficando mais curtos. Cabe lembrar que essas datas para os solstícios e equinócios se invertem no hemisfério norte, sendo o dia 21 de dezembro o solstício de inverno naquele hemisfério.

ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO STELLARIUM

Vamos observar agora os movimentos que podemos ver no céu e que são utilizados para a construção do calendário. Para observá-los, utilizaremos uma simulação, o *software* chamado Stellarium. Após receber as instruções iniciais de seu funcionamento, siga os passos a seguir.

1. Observando o dia e a noite

Observe, ao longo de um dia, o movimento diurno que o Sol faz no céu e também o movimento noturno das estrelas e da Lua. Descreva o que observou, atentando para pontos cardeais e horários.

2. Observando as fases da Lua

Observe a Lua, seu nascimento e ocaso ao longo de um mês. Descreva o que observou, atentando para os horários e taxa de iluminação.

3. Observando o nascer do Sol

Observe o nascer do Sol ao longo de um ano. Essa parte será semelhante ao vídeo apresentado. Descreva o que observou, atentando para pontos cardeais e horários.

4. Observando a Constelação do Homem-Velho

Procure a constelação do Homem-Velho e observe seu movimento anual, especialmente quando ela passa a ser visível à noite. Descreva o que observou, atentando para pontos cardeais e horários.

5. Observando a Constelação da Ema

Repita o passo anterior, desta vez para a constelação da Ema.

COSMO GUARANI

Uma descrição da Astronomia Guarani, além de seu calendário, passa pela descrição dos elementos que surgem no céu. Para os Guarani, o céu abriga deuses, espíritos dos antepassados e elementos da natureza. Estudar o céu sob seu ponto de vista é estudar sua história, sua religião, sua ciência e sua vida.

Sol e Lua

Para os Guarani, o Sol e a Lua são dois irmãos, chamados *Kwaray* e *Djatxy*, respectivamente. *Kwaray* é o irmão mais velho e ambos são caçadores, por isso estão sempre em movimento no céu.

Entretanto, o Sol desempenha vários papéis na cultura Guarani, sendo *Kwaray* apenas um deles, o do sol enquanto objeto celeste, e não divindade.

Histórias sobre os irmãos *Kwaray* e *Djatxy* contam sobre suas caças a onças que até hoje os perseguem, causando os eclipses; relações familiares conturbadas, causando as manchas lunares; casamentos, causando as fases da Lua.

Constelações

Duas constelações importantes para os Guarani são *Guyra Nhandu* (Constelação da Ema) e *Tudja'i* (Constelação do Homem Velho). Elas ajudam a marcar as estações do ano, sendo *Tudja'i* relacionada ao verão e *Guyra Nhandu* ao inverno.

A narrativa sobre o Homem Velho, que fica na região das chamadas Três Marias, fala de um homem que era casado com uma mulher mais nova que ele, que se apaixona pelo seu irmão caçula. Para se livrar do esposo idoso, ela corta a perna dele, deixando-o sangrar até a morte. Os deuses se compadecem e levam ele para morar no céu. Ele pode ser visto com seu cocar, uma bengala e sua perna cortada sangrando, já que a estrela que forma sua ponta é Betelgeuse, uma estrela vermelha.

Já a Ema se localiza perto do que costumamos chamar de Cruzeiro do Sul. Conta-se que o Cruzeiro do Sul segura a Ema para que sua cabeça não deite sobre a Terra e beba toda a água do planeta. Na garganta da Ema, estão dois ovos que ela já engoliu.

Cabe notar que as constelações indígenas são diferentes das ocidentais não só em suas narrativas e construções, mas no próprio método de construção. Enquanto as principais constelações ocidentais estão perto da eclíptica, ou seja, do caminho

que o Sol percorre ao longo do ano, as indígenas se encontram perto do plano da Via Láctea.

Além disso, os desenhos são extremamente complexos e utilizam as manchas da Via Láctea para constituir as imagens, enquanto as constelações ocidentais são apenas representações que utilizam as estrelas em configurações muito mais abstratas.

Pontos Cardeais

Um importante conceito em Astronomia são os pontos cardeais. Além dos quatro normalmente conhecidos da Geografia (norte, sul, leste, oeste), a Astronomia costuma lidar com mais um: o zênite, o ponto mais alto do céu.

Na Astronomia Guarani, os pontos cardeais são associados às moradas dos deuses, especialmente de acordo com o papel que cumprem no movimento diurno do Sol, o caminho de *Kwaray*. Norte e sul são a morada de *Idjyke*. O leste é a morada de *Karai* e *Nhamandu*. O oeste é a morada de *Tupã*. O zênite é a morada de *Djakaira*.

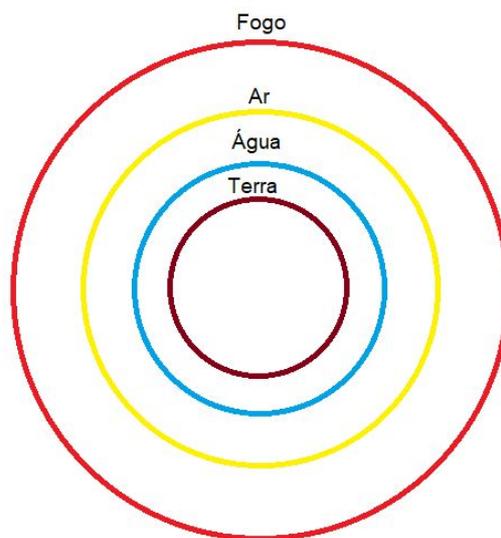
É através dos pontos cardeais e a aproximação ou afastamento do Sol em relação a eles que os Guarani conseguem se localizar, espacial e temporalmente, como observado na discussão sobre seu calendário.

HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

A história dos modelos de Universo construídos pela Ciência se confunde com a história das ideias de movimento, da ideia de gravidade e da própria Ciência. Por isso, nem sempre falamos só do movimento dos planetas nesse texto, mas também de inércia, pêndulos e método experimental.

Desde que o ser humano surgiu ele pensa sobre tais questões, mas começaremos nossa história em Aristóteles, na Grécia Antiga. A Filosofia que ele herdou, deu continuidade e desenvolveu ainda mais, tratava o movimento como um sinônimo de transformação. O que hoje chamamos de movimento, especialmente na Mecânica, eles chamavam de movimento local, ou deslocamento.

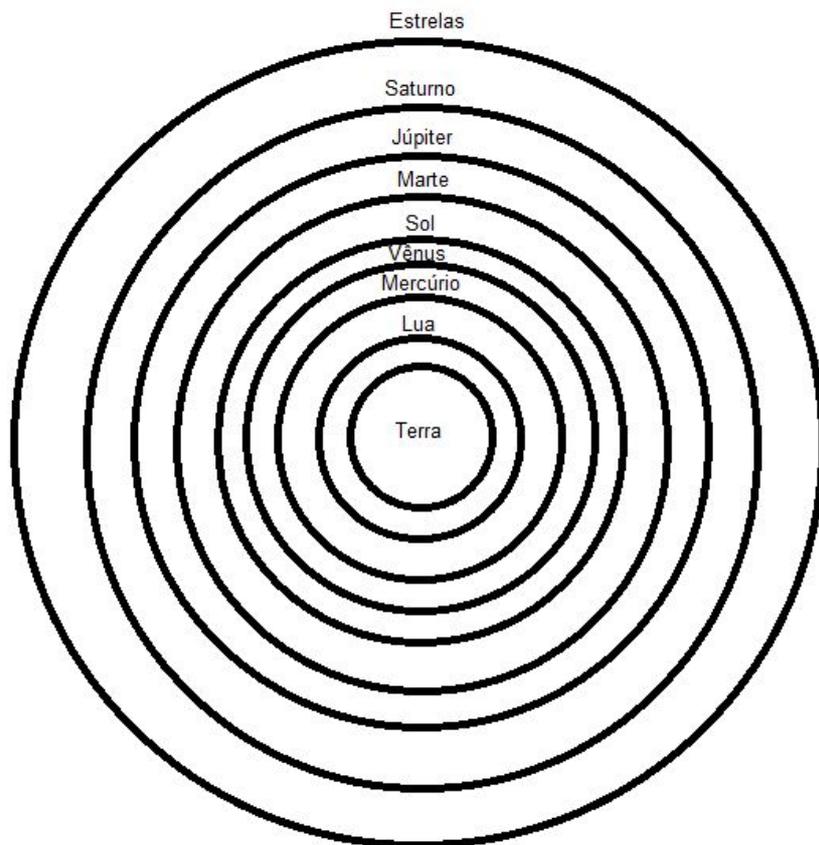
Outra diferença é o que eles consideravam ser a composição do mundo. Aristóteles adota uma linha, nascida com Empédocles, que considera quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Eles se conectam à explicação dos movimentos (especialmente os que hoje chamamos de queda livre) por meio do conceito de lugar natural. Cada um desses elementos teria uma posição bem definida, por meio de esferas concêntricas. Quando fora dessa posição, ele naturalmente e em linha reta, se deslocaria para ela. O elemento terra cairia e o elemento fogo subiria, por exemplo.



Uma exceção são os corpos celestes. Na concepção de Aristóteles a Terra era o centro do Universo, imóvel e, por isso, os corpos celestes aparentam desenvolver movimento circular uniforme. Como eles pareciam fugir à regra do movimento natural, a explicação era de que eles eram feitos de um quinto elemento, o éter. Essas concepções tem parte de sua origem em Pitágoras.

HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

O éter teria características especiais que davam a ele uma propriedade de simetria, ligada ao conceito de perfeição muito comum na Filosofia grega. Essa perfeição envolvia um movimento eterno e simétrico, ou seja, circular uniforme. Essa diferenciação criou então uma divisão fundamental no Universo. Havia um mundo sublunar, imperfeito, com os quatro elementos e movimento natural reto. Havia um mundo supralunar, perfeito, com éter e movimento natural circular. Ambos estariam limitados pela esfera das estrelas fixas, fazendo o universo limitado, finito, impedindo movimentos eternos em linha reta.



Na concepção de Aristóteles, a rapidez da queda (não havia o conceito de velocidade definido como hoje em dia) era constante e dependia da tendência do corpo. Corpos mais pesados caem mais rapidamente. Outro fator era a resistência do meio, conceito vago mas que se relaciona com as forças de atrito, arrasto e com a própria ideia de inércia moderna. A rapidez diminui com o aumento da resistência.

No deslocamento aristotélico não havia inércia nem ação à distância. Quem garantia o movimento natural era uma tendência intrínseca ao corpo. Da mesma forma, o lançamento de projéteis, que envolvia um movimento, natural, para baixo e um movimento, chamado violento, na horizontal, era garantido pois quem lançava o projétil fazia com que o ar o empurrasse.

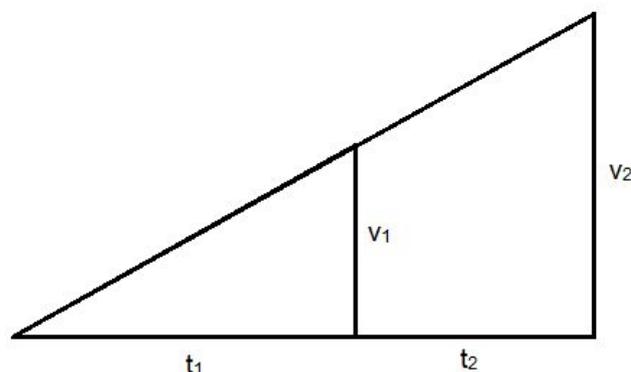
GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Já na Idade Média, Guilherme de Ockham, aplicou ao movimento local o que conhecemos hoje como Navalha de Ockham: não usar para explicar algo mais do que o necessário. Aplicando-a ao movimento, Ockham disse que não deveriam recorrer a conceitos como lugar natural ou ao fato de o ar empurrar os projéteis. As causas e explicações do movimento deveriam estar nele próprio. Além disso, Ockham separou as causas do movimento de sua descrição.

Usando as ideias de Ockham, o chamado Colégio de Merton desenvolveu algumas teorias que hoje chamamos de Cinemática, se preocupando apenas com a descrição dos movimentos. Em termos da Filosofia, eles concebiam o movimento como uma qualidade. Para as qualidades, eles buscavam descrever uma intensidade, medida em graus. No caso do movimento, a intensidade era a velocidade. A análise deveria ser então da mudança da intensidade ao longo de uma reta abstrata, chamada extensão. No caso do Colégio de Merton, a extensão era o tempo.

A partir dessas ideias, eles definiram a velocidade como o deslocamento no tempo e a aceleração como a mudança da velocidade no tempo. Definiram ainda a chamada velocidade instantânea, ou seja, o deslocamento em um tempo muito pequeno.

Com essas ideias e usando Geometria, a Matemática que possuíam na época, eles estudaram movimentos uniformes, uniformemente variados e lançaram as bases dos gráficos da velocidade em função do tempo, inclusive calculando o deslocamento a partir da área desse gráfico.



Um resultado importante dos chamados mertonianos é o Teorema da Velocidade Média que diz que em um movimento uniformemente variado, o deslocamento é o mesmo que se fosse um movimento uniforme desenvolvido com a velocidade média.

HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

A explicação dos movimentos ficou por conta especialmente do conceito de *impetus*, desenvolvida por Buridan e Oresme: quando um corpo era posto em movimento, pela ação de algum outro corpo (movimento violento) ou pela sua tendência ao lugar natural (movimento natural) ganhava *impetus*, que mantinha o movimento, se opondo à resistência a este. Oresme teve também influência no Colégio de Merton.

Após a Idade Média, Galileu, desenvolvendo o que hoje conhecemos como método experimental, concluiu, através de pêndulos e planos inclinados, que a queda era um movimento uniformemente variado. Sabendo disso, aplicou o Teorema da Velocidade Média e chegou a relações entre as distâncias percorridas, os tempos e as velocidades. Em notação moderna, podemos chegar a relações com a aceleração, inclusive.

Entretanto, Galileu usava conceitos errôneos para explicar tais fenômenos. Ele considerava o que conhecemos como inércia circular, ou seja, uma tendência dos corpos a manterem um movimento paralelo à Terra. Além disso, achava que a gravidade estava relacionada à proximidade com o centro da Terra.

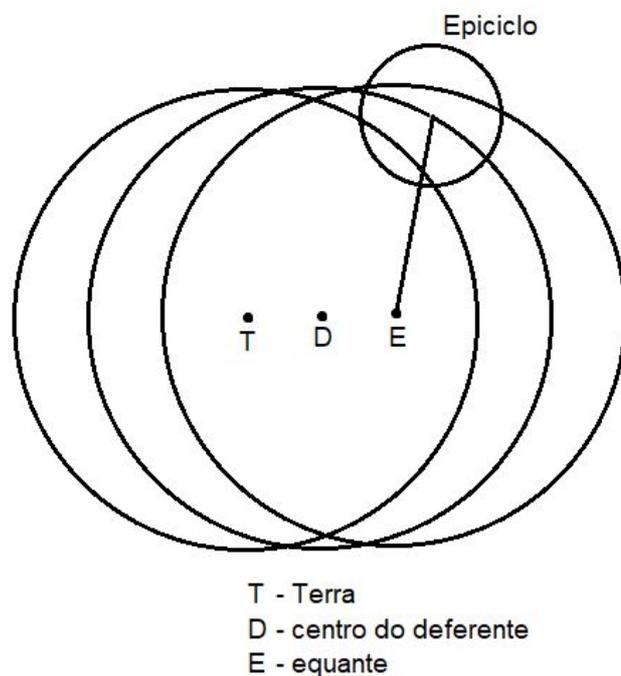
Ainda assim, usando a inércia circular, Galileu desenvolveu o conceito de relatividade do movimento, ou seja, que todo movimento é relativo a algo, e com isso explicava, por exemplo, o lançamento de projéteis que pareciam indicar uma Terra imóvel. A verdade é que o movimento da Terra era comum ao projétil, não havendo movimento relativo. Após o lançamento, por inércia, apenas o movimento dado pelo lançamento surgia, sem alterar o movimento que o projétil já tinha.

Enquanto Galileu descrevia e explicava os movimentos na Terra, no mundo sublunar, outros trabalhavam nos movimentos supralunares, na Astronomia. E esses trabalhos também possuíam antecedentes que remontavam à Antiguidade.

O modelo aristotélico do movimento circular uniforme não condizia com algumas anomalias astronômicas observadas no movimento dos planetas: a retrogressão, movimento que alguns planetas fazem na direção contrária à regular; variações no movimento, alterando o tempo gasto para percorrer um mesmo arco; variações no brilho, que associavam à aproximação e afastamento da Terra.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Ainda na Antiguidade, a principal solução foi dada por Ptolomeu, no livro *Almagesto*, onde ele inseriu três elementos fundamentais: o epiciclo, um círculo cujo centro orbitava a terra em movimento circular uniforme e no qual o planeta se movia da mesma forma; a excentricidade do deferente, fazendo a Terra não coincidir com o centro do círculo percorrido pelo centro do epiciclo; o equante, fazendo a velocidade regular do epiciclo ser medida em relação a um ponto que não fosse o centro do deferente.



Isso resolvia as anomalias, mas inseriu uma série novos elementos. Após a Idade Média, somente, que Copérnico propõe um modelo em que o Sol é o centro do Universo e a Terra e outros planetas giram em torno dele. Com isso, Copérnico retira o equante e supõe uma terra móvel. Copérnico naturalmente não criou essa suposição do nada. Ela havia sido levantada já na Grécia Antiga, por Aristarco de Samos, e em uma versão diferente na Idade Média, por Nicolau de Cusa.

Galileu defende o modelo copernicano, que sua física ajuda a consolidar. A relatividade do movimento e a inércia circular ajudam a explicar os movimentos na Terra móvel de Copérnico. As observações de Galileu com seu telescópio apontam para um Universo maior e mais rico do que se imaginava, do qual a Terra não é o único centro. Antes das observações de Galileu, entretanto, Giordano Bruno havia alterado a noção de Cusa sobre Universo ilimitado (limite desconhecido) para de um Universo infinito, e pagou por isso com sua vida.

HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

Tycho Brahe obtém, utilizando equipamentos poderosos, observações e medidas muito precisas de vários planetas. Um deles parecia causar grande problema: Marte. Sua órbita diferia muito dos modelos ptolomaico e copérnico. O próprio Tycho tinha um modelo, não aceitando a visão copernicana, no qual Marte também não se encaixava.

O assistente de Tycho, Johannes Kepler, exímio matemático, começa a testar várias suposições com as órbitas, especialmente a de Marte, dentro do modelo copernicano: órbitas circulares, diferentes posicionamentos e tamanhos. Por fim, obtém três leis do movimento celeste: as órbitas são elípticas e o Sol está em um foco; o segmento que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais; o quadrado do período de órbita e o cubo do raio médio desta são proporcionais. Com isso, Kepler resolve os problemas das órbitas dos planetas em termos descritivos, mas ainda não explica o que causa tais regularidades, por mais que tente usar o conceito de magnetismo.

Tal tarefa, caberia à Newton.

ORIENTAÇÕES PARA O TEXTO

“HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO”

O texto “História do Modelo de Universo” traz alguns elementos históricos que vão desde a Grécia Antiga até o século XVII, e que colaboram na compreensão da evolução da Ciência como um todo. Com o nascimento da Filosofia remontando aos gregos, são dois filósofos (e seus seguidores) que lançam duas das bases de desenvolvimento subsequentes: Empédocles e Pitágoras. Não podemos ignorar nomes como Aristarco, Demócrito, Leucipo, Filolau. Porém, são ideias presentes na filosofia dos dois anteriores que mais nos interessam neste momento.

Empédocles rompe com uma tradição de buscar um elemento primordial (a água, o ar, o *apeiron*) e descreve uma natureza baseada em quatro elementos e duas forças. Os quatro elementos são conhecidos da maioria: terra, água, ar e fogo. As forças são uma atrativa (força amor) e uma repulsiva (força ódio).

Pitágoras, conhecido pela relação entre catetos e hipotenusa, busca dar significado à natureza através da simetria das formas geométricas. Seus alunos dão, religiosamente, continuidade a seus trabalhos. É com os pitagóricos que surge a ideia de astros esféricos, inclusive a Terra, e órbitas circulares em movimento uniforme em torno da Terra. Isso porque a esfera e o círculo são o máximo da simetria.

Variações na velocidade dos planetas (incluindo Sol e Lua) no céu, seu movimento retrógrado e suas variações de brilho colocam em debate o movimento circular proposto por Pitágoras. Platão propõe que a Astronomia deve se preocupar com a combinação de movimentos circulares que expliquem tais observações.

Eudoxo e Calipo propõem um sistema de esferas que, umas conectadas às outras, transmitem movimento, e assim, permite resolver especialmente os problemas ligados às velocidades e ao movimento retrógrado.

Aristóteles aumenta a quantidade de esferas e postula que elas possuem existência material, feitas de éter. O Universo seria finito, tendo como limite a última esfera. Aristóteles não concebe o vazio e, por isso, não há nada além da esfera das estrelas fixas. O éter também seria o componente dos outros astros, concentrações pontuais de éter. A resistência ao movimento existente no éter causa o aquecimento e o brilho de tais astros, que ficam em seu perene e perfeito movimento circular, ainda que uma multiplicidade destes. Essa era a descrição de Aristóteles para o mundo supralunar, além da Lua.

ORIENTAÇÕES PARA O TEXTO “HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO”

Abaixo da Lua o mundo seria composto pelos quatro elementos de Empédocles. As forças atrativa e repulsiva são substituídas pela noção de lugar natural. Cada um destes elementos possui um lugar natural relativo ao centro do Universo. O elemento terra tende a ficar mais próximo do centro do Universo e por isso, o centro da Terra coincide com este. Acima da terra vem a água, depois o ar e por último o fogo. Isso compoem o mundo sublunar. Depois da Lua, temos o éter.

As observações de Eratóstenes corroboram a visão filosófica de uma Terra esférica e ainda dão uma medida de seu tamanho. Essas medidas combinadas às observações astronômicas mais vastas e precisas que passam a ser feitas nos séculos seguintes vão culminar em um modelo extremamente completo de Universo.

Cláudio Ptolomeu propôs em seu *Almagesto* um modelo que daria conta da maioria das observações astronômicas que desde Platão vinham perturbando o movimento circular uniforme. Composto por uma Terra esférica, imóvel envolta por uma esfera celeste de dimensões muito superiores às da Terra, as órbitas eram compostas por epiciclos se movendo em deferentes, observados de excêntricos e com sua velocidade angular constante sendo medida de um equante. É o modelo ptolomaico que perdura do século II ao século XVII da era comum.

A Idade Média vê uma certa estagnação da produção do conhecimento científico, e até um retrocesso, com alguns pensadores voltando a advogar inclusive pela Terra plana. No século XIV, já se aproximando de seu fim, alguns conceitos gregos e surgidos durante a idade média irão se desenvolver em níveis novos, de forma que irão influenciar as pesquisas a partir daquele momento.

Guilherme de Ockham desenvolve uma ressignificação da ideia de movimento local, criando de certa forma a divisão entre Cinemática e Dinâmica. A primeira deveria se preocupar em descrever o movimento. A segunda em explicá-lo. Em suas explicações, deveria recorrer apenas ao próprio movimento, sem apelar para conceitos como lugar natural, por exemplo.

Jean Buridan desenvolve o conceito de *impetus*: uma qualidade dada aos corpos quando postos em movimento que se extingue pela resistência do meio. Assim, o meio apenas resistiria e não mais empurraria o objeto, como em Aristóteles. O *impetus* para o movimento circular dos astros havia sido dado na Criação e, na ausência de resistência, continuam indefinidamente. O seguidor de Buridan, Nicole d’Oresme, altera o conceito de *impetus*, fazendo que ele se desgaste mesmo sem a resistência do meio.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Usando ideias de Ockham e Oresme, o chamado Colégio de Merton desenvolveu estudos na descrição dos movimentos. Passam a descrever o movimento como uma qualidade, cuja medida de intensidade era a velocidade. O estudo dos mertonianos se concentra em avaliar a variação da intensidade ao longo da extensão, que neste caso é o tempo. Eles definem os conceitos de velocidade instantânea, aceleração e a relação entre velocidade e deslocamento. Com isso desenvolvem algumas relações importantes no estudo do movimento uniforme e uniformemente variado.

Um dos maiores passos do Colégio de Merton e de Oresme foi a utilização de gráficos para representar o movimento. O tempo (a extensão) era representado como uma reta horizontal. A velocidade (intensidade) do movimento (qualidade) era representada por uma linha cujo altura representava o valor da velocidade (grau da intensidade). Com isso, conseguiram provar um resultado central na posterioridade: o Teorema da Velocidade Média.

Nicolau de Cusa, aplicando a teoria do *impetus*, acredita em um Universo ilimitado, todo em movimento, que explica os movimentos que vemos como puro efeito do movimento relativo, sem um ponto especial de referência e com os mesmos materiais compondo Terra e Céu. Assim, um movimento começado com Buridan de unificar os mundos sublunar e supralunar, usando o *impetus* para explicar o movimento no Céu e na Terra, é ainda mais consolidado pelas ideias de Cusa, que supõem que outros astros também são compostos pelos elementos de Empédocles e seguem princípios de lugar natural semelhantes aos da Terra.

Já com o medievo em seus últimos momentos e as Grandes Navegações descobrindo a América, surge Nicolau Copérnico. Revivendo um modelo de Aristarco de Samos e aplicando as ideias desenvolvidas com Nicolau de Cusa, Copérnico propõe um modelo heliocêntrico. O Sol está no centro e a Terra e outros planetas orbitam ele, enquanto a Lua orbita a Terra. É importante apontar que Copérnico elimina o equante, mas mantém excêntrico e epiciclo. Esse modelo não supera de imediato o ptolomaico, por ser tão ou mais complexo e obter resultados semelhantes, mas lança as bases para isso, iniciando uma revolução.

O modelo copernicano enfrenta um grande problema ao colocar a Terra em movimento: a física aristotélica. Seria necessária uma nova física para isso. Esta viria com Galileu, que traria conceitos essenciais para o desenvolvimento da Física como conhecemos hoje. Além disso, outros pensamentos e pensadores foram fundamentais na defesa e aceitação do modelo copernicano.

ORIENTAÇÕES PARA O TEXTO “HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO”

Giordano Bruno, a partir de reflexões teológicas, e partindo das ideias de Copérnico e Cusa, propõe-se a ir além. Segundo Bruno, o Universo é infinito e o modelo de Copérnico é apenas válido em nossas redondezas. Ao longo desse Universo sem fim, existem diversos outros mundos, com diversos outros sóis. Sua visão era radical, assim como ele próprio, e Giordano Bruno pagou com a vida.

Galileu Galilei constrói seu telescópio, invenção do holandês Hans Lippershey, e com ele faz uma série de observações que colocam em voga vários princípios aristotélicos e ptolomaicos, em defesa do sistema copernicano e de uma nova física. Podemos citar as irregularidades na superfície da Lua, as manchas e a rotação solares, as fases de Vênus, as luas de Júpiter, a forma estranha de Saturno, causada por seus anéis e a grande quantidade de estrelas fixas e sua enorme distância em relação à Terra.

Depois da proibição de suas obras astronômicas, Galileu se dedica ao estudo do movimento. Na esteira dos trabalhos medievais e de Giordano Bruno, Galileu encontra, após experimentos, relações entre tempo e distância no caso do movimento uniforme e uniformemente variado, além de propôr um movimento neutro, nem natural, nem violento. Com isso, Galileu também ajuda a explicar os movimentos em uma Terra móvel como a de Copérnico.

Tycho Brahe, dinamarquês, obtém medidas muito precisas dos céus, com instrumentos poderosos, porém sem telescópio. Tycho não era copernicano, mas seu modelo ajustado do ptolomaico também não era muito bom. O grande avanço veio com seu assistente, Kepler.

Johannes Kepler parte das observações de seu mestre e testa diversos modelos que fazem elas serem mais precisas. Copernicano que era, colocou o Sol no centro e testava diferentes arranjos das órbitas circulares. Por fim, rompe com o paradigma vigente desde Pitágoras e propõe órbitas elípticas, com o Sol em um dos focos, enunciando sua primeira lei. Obtém ainda duas outras leis do movimento celeste: o segmento que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais; o quadrado do período de órbita e o cubo do raio médio desta são proporcionais. Kepler busca explicar esses padrões por meio do magnetismo, recentemente estudado pelo inglês William Gilbert, mas não se aprofunda neste.

Com as Leis de Kepler e a Física Galileana, a Astronomia e a Física chegam a um novo nível, que só se eleva ainda mais com a obra de Newton, especialmente os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Neste texto a intenção é apresentar dados e raciocínios que podem ser interessantes suscitar durante as discussões sobre a Lei da Gravitação Universal. A ideia é que através desses elementos, os alunos possam ir trilhando caminhos que, com o auxílio do professor, darão mais significado à formulação da gravidade feita por Newton.

Da última atividade, os alunos já conhecem as Leis de Kepler e alguns dados sobre o Sistema Solar, mas aqui iremos reforçar alguns aspectos. Newton sabia que a Terceira Lei de Kepler se aplicava não só aos planetas, mas também aos satélites de Júpiter e Saturno conhecidos à época. A diferença é que as constantes de proporcionalidade eram diferentes. Podemos enunciar a Terceira Lei de Kepler como:

$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

Veja na tabela na próxima página a aplicação de tal lei a um conjunto de corpos. O que esperamos que fique visível é que corpos orbitando o mesmo objeto central possuem o mesmo valor para a razão. De alguma forma, tal razão é independente de características do objeto que orbita, dependendo apenas da órbita em si e do corpo que a gera.

Sendo nosso objetivo estudar a dinâmica de tais órbitas, precisamos trocar o conceito de período por um mais funcional nesse cenário, no caso o conceito de velocidade. Para isso usamos a relação:

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

Substituindo essa expressão na razão que descobrimos ser constante (para um mesmo corpo central), chegamos a relação:

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Corpo	Corpo central	Período (dias)	Raio (Gm)	T ² /R ³
Mercúrio	Sol	87,969	57,909	0,0398
Vênus	Sol	224,701	108,209	0,0398
Terra	Sol	365,256	149,598	0,0398
Lua	Terra	27,322	0,384	1,31 10 ⁴
Marte	Sol	686,971	227,939	0,0398
Júpiter	Sol	4331,572	778,547	0,0398
Io	Júpiter	1,769	0,421	41,9
Europa	Júpiter	3,551	0,671	41,7
Ganímedes	Júpiter	7,154	1,070	41,8
Calisto	Júpiter	16,689	1,883	41,7
Saturno	Sol	10759,220	1433,449	0,0393
Tétis	Saturno	1,888	0,295	139
Dione	Saturno	2,737	0,377	140
Reia	Saturno	4,517	0,527	139
Titã	Saturno	15,945	1,222	139
Jápeto	Saturno	79,330	3,561	139

$$\begin{aligned}
 \frac{T^2}{R^3} &= \frac{1}{R^3} \left(\frac{2\pi R}{v} \right)^2 \\
 &= \frac{4\pi^2 R^2}{R^3 v^2} \\
 &= \frac{4\pi^2}{R v^2} = K
 \end{aligned}$$

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Se eliminarmos as constantes, trocando-as por um raciocínio de proporcionalidade, vamos descobrir que o quadrado da velocidade é inversamente proporcional ao raio da órbita. Escrevemos essa conclusão como segue, em termos matemáticos. Sempre que a velocidade tem esse caráter dizemos que há um movimento kepleriano.

$$\frac{4\pi^2}{Rv^2} = K$$
$$\frac{4\pi^2}{KR} = v^2$$
$$v^2 \propto \frac{1}{R}$$

Novamente, como nossa intenção é estudar a dinâmica, devemos encontrar a aceleração desse movimento (se houver), para com ela construir a força envolvida. Huygens já havia mostrado que em movimentos curvos, como a órbita, a aceleração, chamada centrípeta, era ligada à velocidade e ao raio. Como obtivemos uma relação entre o quadrado da velocidade e o raio, podemos usar tal relação para perceber uma proporcionalidade entre a aceleração e o raio, mais precisamente: a aceleração é inversamente proporcional ao quadrado do raio.

$$a = \frac{v^2}{R}$$
$$a \propto \frac{1}{R^2}$$

Com isso podemos entrar na dinâmica propriamente dita. Até agora havíamos feito estudos cinemáticos, ou seja, de descrição do movimento, buscando descrevê-lo em termos que nos fossem úteis no estudo das forças envolvidas. Como bem sabemos, a dinâmica newtoniana é descrita pelo conceito de força, ligando este ao de aceleração. Essa ligação é feita pela segunda lei de Newton, escrita abaixo numa forma simplificada.

$$F = ma$$

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Então sabemos que a força que um corpo sente quando em órbita é proporcional à sua massa, já que a aceleração independe desta massa. Assim, se chamamos de objeto 1 o que está orbitando, a força que ele sente pode ser expressa, em termos de proporção, da forma que segue:

$$F_1 \propto \frac{m_1}{R^2}$$

Como os corpos estão interagindo pelo mesmo tipo de força, é de se esperar que a força que o corpo central sente seja também proporcional à sua massa e inversamente proporcional ao quadrado do raio da órbita. Chamando esse corpo de 2, podemos escrever:

$$F_2 \propto \frac{m_2}{R^2}$$

Entretanto, a terceira lei de Newton adiciona mais uma restrição: a força sentida pelo corpo na órbita é a mesma (em módulo e direção) sentida pelo corpo central. Suas diferentes acelerações se devem às suas diferentes massas, porém as forças são iguais em módulo e direção, invertendo seu sentido. Em termos de módulo podemos escrever:

$$F_1 = F_2$$

De forma que é como se houvesse apenas uma força, que atua em ambos, invertendo o sentido. Tal força seria proporcional às duas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. Além de escrevermos essa proporcionalidade, podemos atribuir uma constante, G .

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

Esta constante que surge, G , ganha o nome de Constante da Gravitação Universal, nome dado à Lei acima expressa. Esse nome sugere que tal lei valha em todos os casos: sempre que existem dois corpos com massa, ambos se atraem segundo essa lei, independente de suas massas, se um orbita o outro ou não, se tal fenômeno pode ser percebido. Newton unifica Céus e Terra. Não observamos a atração entre objetos cotidianos porque a constante G é muito pequena. Seu valor, aproximado, é de:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Vamos retornar ao Céu e verificar como essa Lei retorna à Lei de Kepler usada para construí-la e descobrir como o corpo central influencia no valor da razão. Sabemos que na órbita a força resultante é a gravitacional e que essa deve exercer o papel de força centrípeta. Por isso vamos igualar as duas expressões.

$$\frac{Gm_1m_2}{R^2} = m_1 \frac{v^2}{R}$$

Vamos encontrar a velocidade ao quadrado em função do raio. Já sabemos que será inversamente proporcional, mas não sabemos qual a constante de proporcionalidade. Para isso multiplicamos pelo raio e dividimos pela massa do corpo em órbita.

$$\frac{Gm_2}{R} = v^2$$

Vamos então substituir a expressão da velocidade em função do período, ao contrário do que fizemos no começo da construção. Depois disso vamos organizar a expressão para que apareça a razão que estamos investigando.

$$\frac{Gm_2}{R} = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2}$$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{Gm_2}$$

Como observamos, o termo do lado direito possui constantes e a massa do corpo central. Por isso objetos que orbitam o mesmo corpo possuem a mesma razão. Com isso, reconstruímos a lei de Kepler que usamos no início, indicando a consistência dos nossos processos.

Vamos obter os valores dessas constantes para os quatro corpos centrais da tabela que tínhamos. Vamos, no processo, ter que fazer uma conversão de unidades, multiplicando o valor obtido por uma constante que coloque nas mesmas unidades que figuram na tabela anterior.

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Corpo central	Massa	Razão
Sol	$1,99 \times 10^{30}$	0,0398
Terra	$5,97 \times 10^{24}$	$1,32 \cdot 10^4$
Júpiter	$1,90 \times 10^{27}$	41,7
Saturno	$5,68 \times 10^{26}$	139

Os valores conferem e, como era de se esperar, quanto mais pesado o corpo central, menor a razão. Calculamos a da Terra porque, por mais que na época de Newton só se conhecesse a Lua, hoje em dia o próprio ser humano povoou a órbita terrestre de objetos, satélites, foguetes...

Outra coisa que podemos fazer é obter o valor da aceleração da gravidade próximo a superfície da Terra. Para isso consideramos um objeto de massa qualquer a uma altura da superfície. Sua distância a ser considerada é a distância ao centro da Terra, como se ela fosse uma massa pontual, adicionando o raio da Terra à altura do objeto.

$$P = G \frac{mM_T}{(R_T + h)^2}$$

Se considerarmos um objeto que está a alguns metros da superfície, tal distância é ínfima se considerada em relação ao raio da Terra, e portanto pode ser desconsiderada. Além disso, podemos reescrever o peso como o produto da massa do objeto pela aceleração da gravidade.

$$mg = G \frac{mM_T}{R_T^2}$$

Como a massa do objeto aparece dos dois lados da equação, podemos dividir por ela, obtendo uma aceleração que independe da altura ou da massa do objeto, como determinado por Galileu Galilei.

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2}$$

Se substituirmos os valores da massa e do raio da terra, obtemos que:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Aqui cabe um comentário. O fato de a aceleração ser igual na queda de corpos próximos à superfície da Terra e, pela Terceira Lei de Kepler, na órbita em torno de um corpo central está ligado à construção da massa como “carga gravitacional”. Em outras forças, como a elétrica, a massa não desempenha esse papel. Esse fato é quase uma “coincidência” e não foi compreendido no escopo da Gravitação de Newton.

Um terceiro resultado interessante que queremos descobrir é a altitude dos satélites ditos geossíncronos. Esses satélites recebem esse nome porque seu período orbital é igual ao período de rotação da Terra. Um caso especial são os geoestacionários, satélites geossíncronos que ficam na região da Linha do Equador, aparentando estarem parados em relação à superfície do planeta. Como a velocidade orbital e a distância ao centro da Terra são univocamente relacionadas, podemos determinar a altitude de tal satélite. Usaremos a relação entre período e distância, em uma forma da terceira lei de Kepler.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_T} (R_T + h)^3$$

Queremos obter a altitude, então para isso precisamos deixá-la sozinha de um lado da equação.

$$\frac{GM_T}{4\pi^2} T^2 = (R_T + h)^3$$

$$\sqrt[3]{\frac{GM_T}{4\pi^2} T^2} = R_T + h$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{GM_T}{4\pi^2} T^2} - R_T$$

Essa expressão é geral para a altitude de uma órbita dado o período orbital. Como queremos os que tenham período orbital igual ao período de rotação da Terra, vamos substituir os valores do raio e da massa da Terra e o período pelas 24 horas, em segundos.

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

$$h = 35.871 \text{ km}$$

Acreditamos que esses três resultados completam um ciclo de discussões sobre Gravitação Newtoniana que permite ao aluno compreender o significado da Lei da Gravitação Universal e observar sua aplicabilidade, conferindo os resultados em outras fontes.

FENÔMENO DAS MARÉS

O presente texto busca trazer elementos históricos, culturais, científicos e matemáticos para a discussão do fenômeno das marés e algumas de suas consequências numa perspectiva de inserção de tal assunto em aulas de Física.

O presente texto busca trazer elementos históricos, culturais, científicos e matemáticos para a discussão do fenômeno das marés e algumas de suas consequências numa perspectiva de inserção de tal assunto em aulas de Física.

Os relatos mais antigos de uma Teoria de Marés vêm da Grécia Antiga, quando pensadores gregos observaram o período cíclico destas e sua sincronia com o período da Lua e do Sol. Porém, devido ao pequeno efeito de maré na Grécia (banhada pelo Mar Mediterrâneo), seu estudo era difícil, pois dependia de observar o fenômeno em outros locais

Durante a idade média surgiram algumas explicações diversas, nem todas considerando a Lua e o Sol como os agentes causadores. Uma explicação corrente era que as marés eram causadas pela formação dos grandes fluxos e refluxos de água nos fiordes escandinavos. Árabes falavam no aquecimento gerado pela Lua e pelo Sol. Ingleses falavam em coisas como a Lua soprar sobre o mar.

Até esse momento fica claro que não compreender como seria possível a Lua e o Sol influenciarem na Terra causava tanto o surgimento de explicações que não levavam os astros em consideração, como outras que buscavam explicar a interação através de fenômenos conhecidos, como sopro ou aquecimento.

Cabe aqui já notar que poderiam haver explicações de ordem cosmológica que ligassem as explicações sobre o papel da Lua e do Sol na regulação do cosmo com sua influência sobre as marés.

No final da Idade Média, com a chegada dos europeus às Américas, duas mudanças ocorreram: houve o contato com uma parte do planeta que lhes era, em certo nível, desconhecida, e com populações também desconhecidas. Tais populações tinham suas cosmologias e racionalidades próprias, como já discutido. Isso teria impacto nas concepções europeias de mundo, inclusive na teoria de marés.

Com a descoberta de que oscilações na água podiam levar ao fenômeno da ressonância em grandes corpos, surgiu a ideia de que as marés eram oscilações ressonantes das águas dos oceanos, entre o Velho e o Novo Mundo.

Já os que tiveram contato com os indígenas brasileiros reencontraram a teoria de que eram a Lua e o Sol que causavam as marés, teoria essa levada a segundo plano na Europa. Vamos nos ater um pouco neste ponto. Vejamos o relato do padre Claude D'Abbeville, que veio ao Brasil em 1812, sobre os tupinambás, onde ele diz:

os tupinambás atribuem à Lua o fluxo e o refluxo do mar e distinguem muito bem as duas marés cheias que se verificam na Lua cheia e na Lua nova ou poucos dias depois. (ABBEVILLE)

D'Abbeville não expressa isso de forma isolada, pois também admira nos tupinambás a capacidade de raciocínio, lógica e argumentação, dizendo que eles se revelaram

muito hábeis em deduzir dos argumentos que lhes apresentam as necessárias conseqüências. São bons raciocinadores e só se deixam levar pela razão e jamais sem conhecimento de causa. Estudam tudo o que dizem e suas censuras são sempre baseadas na razão.

É de se notar que a obra de D'Abbeville é de suma importância na compreensão da Etnoastronomia Tupinambá que, por serem do mesmo tronco, serve de referência para comparações com a Etnoastronomia Guarani.

Na consolidação do que viria a ser a Astronomia, dois nomes fundamentais foram Kepler e Galileu. Ambos defenderam e ampliaram o modelo copernicano, sedimentando o método experimental, observacional e matemático na nova ciência. Contemporâneos, os dois também versaram sobre a Teoria de Marés.

Consciente da sincronia entre os períodos lunares e solares e o período das marés, Kepler buscou explicar a interação que causava tal influência. Movido pela descoberta do magnetismo terrestre, ele advogou pela explicação magnética das marés: uma interação com o magnetismo da Lua e do Sol. Foi um passo arriscado, mas que apontou em uma direção interessante.

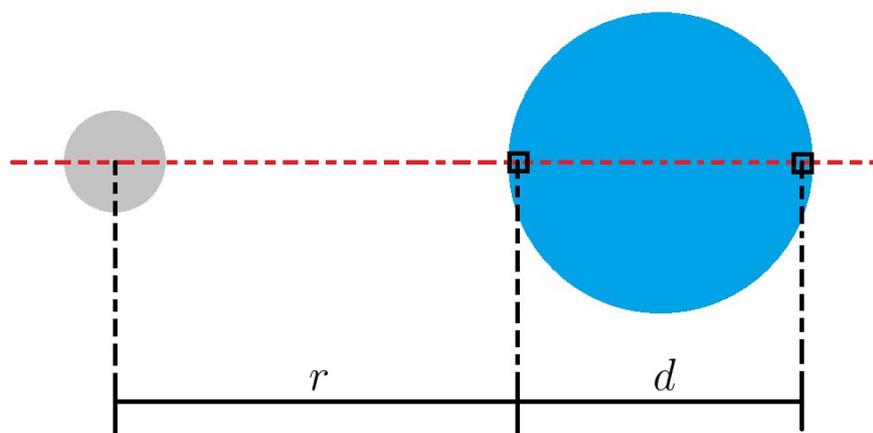
Galileu, mesmo sabendo da sincronia, não conseguia acreditar que Lua e Sol pudessem influenciar nas marés. Alertou Kepler de que acreditar nisso era infantilidade e fé no oculto. Explicava o fenômeno, por sua vez, se utilizando de argumentos das nascentes Física e Astronomia, usando leis dos movimentos e o modelo copernicano. Galileu atribuía à rotação e translação da Terra o fenômeno de marés. Seu modelo, porém, ia na direção oposta das observações.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

A Lei da Gravitação Universal de Newton trouxe a formulação teórica que generalizou as Leis de Kepler para o movimento planetário quando aplicada a dois corpos pontuais. Porém a Terra não é pontual e, por mais que seja muito menor que a distância ao Sol, seu raio não é nulo.

Nesse caso, surgem diferenças entre forças em pontos da Terra, as chamadas forças diferenciais. Explorando as forças diferenciais geradas pela Lei da Gravitação Universal, é possível chegar a uma explicação experimental e teoricamente consistente das marés.

Primeiro vamos considerar dois pequenos pedaços de um corpo maior, de forma que eles formem uma linha reta com um corpo externo. Podemos pensar como pontos opostos na Terra alinhados com a Lua ou o Sol, por exemplo. Veja a imagem.



Pela Lei da Gravitação Universal, supondo que ambas as partículas têm a mesma massa, sabemos calcular a força atrativa exercida em cada uma delas e sabemos que é maior na que está mais próxima. Em relação ao centro do corpo azul, também podemos fazer essa análise. Vamos concluir que a que está mais próxima é atraída mais fortemente, parecendo se deslocar em relação ao corpo azul, na direção do cinza. Já a que está mais distante, atraída mais fracamente, aparenta ser repelida pelo corpo cinza, em relação ao resto do corpo azul.

Com isso, essas partículas se movem em relação ao corpo azul, alongando-o. Esse é o efeito da maré que conhecemos. Mas precisamos ainda identificar quais corpos causam esse efeito na Terra e analisar, com base nos períodos de maré, se isso faz sentido. Podemos imaginar dois corpos como tendo os maiores efeitos: Lua, por ser o mais próximo, e Sol, por ser o maior. Vamos descobrir qual a intensidade da força de maré (precisamente do que ela depende) e comparar os dois. Para descobrir isso, vamos subtrair a força que as duas partículas da imagem sentem.

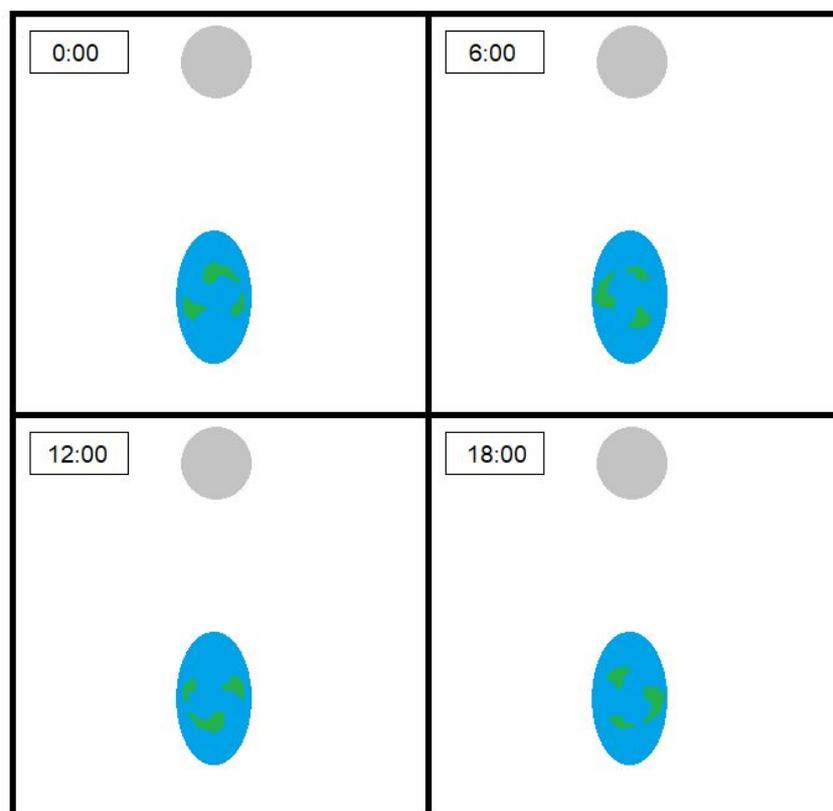
$$\begin{aligned}
 \Delta F &= F_r - F_{r+d} \\
 &= \frac{GmM}{r^2} - \frac{GmM}{(r+d)^2} \\
 &= GmM \left[\frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r+d)^2} \right] \\
 &= GmM \frac{(r+d)^2 - r^2}{r^2(r+d)^2} \\
 &= GmM \frac{2rd + d^2}{(r^2 + rd)^2} \\
 &\approx GmM \frac{2rd}{r^4} \\
 &= 2 \frac{GmM}{r^3} d
 \end{aligned}$$

Com essa relação, observamos que a força de maré depende da massa do corpo externo (M) e do cubo da distância média (r^3) (podemos usar a distância até o centro da Terra, por referência). Com isso podemos calcular a razão entre a força de maré causada pelo Sol e pela Lua entre duas partículas de mesma massa (m) distantes uma da outra pelo raio da Terra (d).

$$\frac{\Delta F_S}{\Delta F_L} = \frac{2 \frac{GmM_S}{r_S^3} d}{2 \frac{GmM_L}{r_L^3} d}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{M_S r_L^3}{M_L r_S^3} \\
 &= \frac{2 \cdot 10^{30}}{7 \cdot 10^{22}} \frac{(4 \cdot 10^8)^3}{(1,5 \cdot 10^{11})^3} \\
 &= 5 \cdot 10^{-1} = 0,5
 \end{aligned}$$

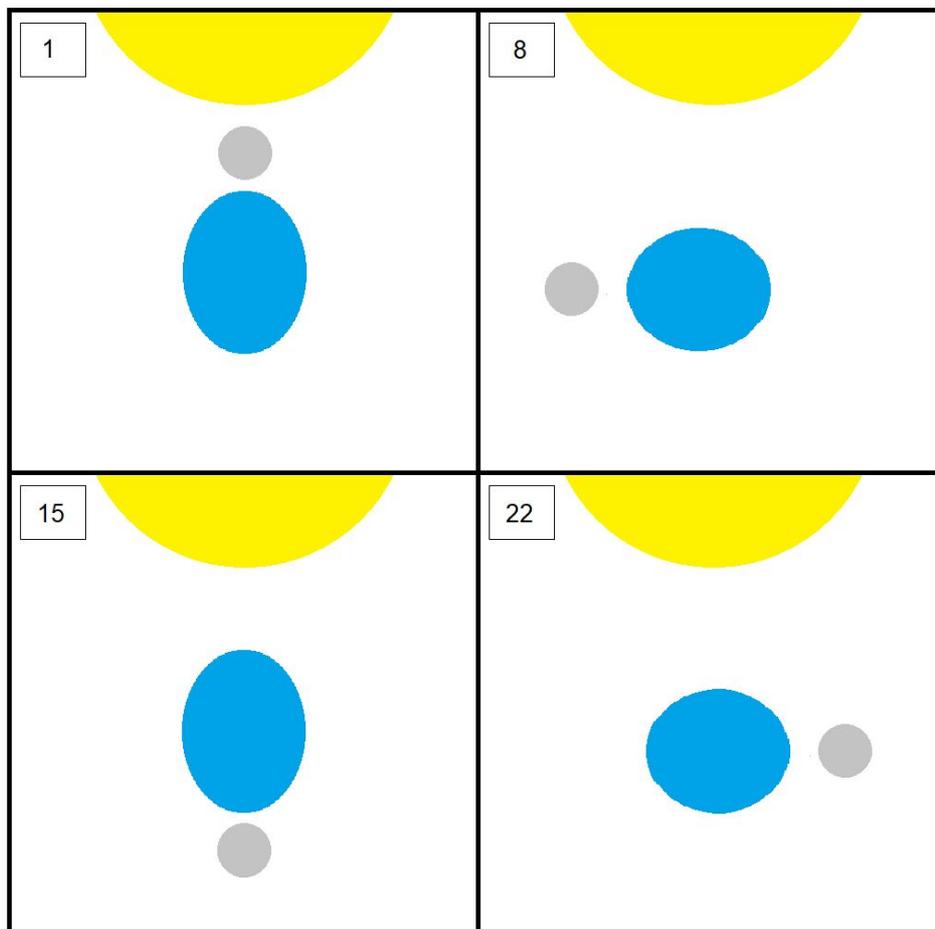
Isso significa que a força de maré causada pelo Sol é metade da causada pela Lua. Mesmo ela sendo mais leve, sua menor distância compensa o tamanho do Sol. Então numa primeira análise vamos considerar apenas a Lua. Se é ela que causa a maré, em primeira aproximação, esperamos que as marés a sigam. Veja a imagem. Ela está fora de escala e exagera os efeitos de maré, e entre cada quadro se passam 6 horas.



FENÔMENO DAS MARÉS

Ao longo de um dia a Lua pouco se move em relação ao centro da Terra, mas com a rotação da Terra, ela parece dar uma volta no céu. Como ela causa uma maré alta no ponto mais próximo e outra no mais afastado, duas vezes por dia temos maré alta. Uma pessoa em um dos continentes da imagem veria uma maré alta junto à Lua e outra quando tivesse passado doze horas.

Mas essa é a primeira aproximação. Precisamos considerar as marés causadas pelo Sol. Mas por serem menores, elas em si não são percebidas, apenas seu efeito sobre as marés causadas pela Lua. Nesse sentido, precisamos considerar a posição relativa do Sol e da Lua, relacionadas às fases da Lua. Na lua cheia e na nova, os efeitos se somam e as marés altas são ainda mais altas, assim como as baixas são ainda mais baixas (marés vivas ou de sizígia). Na lua crescente e na minguante, os efeitos estão descompassados, então o Sol não contribui para as marés altas e eleva um pouco as marés baixas, diminuindo a diferença (marés mortas ou de quadratura). veja a imagem. Novamente fora de escala e entre cada quadro se passaram sete dias, aproximadamente.



GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

As chamadas marés mortas ainda possuem uma diferença entre maré alta e baixa, mas menor que durante as marés vivas. Essa explicação baseada na Gravitação Newtoniana confere em ótimo nível com as observações feitas desde a Antiguidade.

A intenção é mostrar como uma análise a partir de conceitos físicos e relações matemáticas pode ajudar na compreensão dos fenômenos. Não é uma relação única, já que Galileu usou tais conceitos e não obteve a resposta certa, enquanto os Tupinambás, que só tinham as observações, compreendiam. Mas uma vez que os conceitos estão devidamente ajustados, como foi com Newton, as explicações se tornam mais amplas e profundas.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, G. B., Galileu e a Natureza dos Tupinambá. **Scientific American Brasil**, nº 84, p. 60- 65, 2009
- AMARAL, E. A. **Gravitação também é cultura no Ensino Médio?** (Tese de Doutorado). São Paulo: USP, 2018.
- BAPTISTA, J.P., FERRACIOLI, L.. A Evolução do Pensamento sobre o Conceito de Movimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n.1, pp 187-194, 1999.
- BORGES, L. C.. Para uma ontologia do tempo em um recorte guarani mbyá. **Imaginário**, nº 9, pág. 69-98, 2003.
- D'ABBEVILLE, Claude. **História da missão dos padres capuchinhos na ilha do Maranhão e suas circumvisinhas**. São Luiz: Typ. do Frias, 1874.
- DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 3 , pp. 257-271, 2004.
- EKMAN, M. A concise history of the theories of tides, precession-nutation and polar motion (from Antiquity to 1950). **Surveys in Geophysics**, nº 14, p. 585-617, 1993.
- KEPLER, S.O.; SARAIVA, M.F.O.. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.
- GAMOW, George. **Gravity: classic and modern views**. Londres: Heinemann, 1962.
- IWANISZEWSKI, Stanisław. Concepts of Space, Time, and the Cosmos. In: RUGGLES, Clive L.N. (org). **Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy**. Nova Iorque: Springer, 2015. p. 3-14.
- OLIVEIRA, C.E.. Sobre algumas interpretações das relações entre a filosofia ockhamiana e a física dos modernos. **Trans/Form/Ação**, v. 34, n 3, pp. 69-88, 2011.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015a (revisado em julho de 2019).
- _____. **Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana**. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015b (revisado em julho de 2019).
- RUGGLES, Clive L.N. Calendars and Astronomy. In: RUGGLES, Clive L.N. (org). **Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy**. Nova Iorque: Springer, 2015. p. 15-30

**APÊNDICE B – GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA INDÍGENA – VERSÃO
DO ESTUDANTE**

VERSÃO DO
ESTUDANTE



GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Carlos I. F. Fehlberg
José Bohland Filho
Claudia A. C. A. Lorenzoni



GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

VERSÃO DO ESTUDANTE

Carlos Ivan Falcão Fehlberg

José Bohland Filho

Claudia Alessandra Costa de Araujo Lorenzoni

SUMÁRIO

1. Roteiro de construção de relógio solar
2. Marcação do tempo
3. Roteiro de construção de calendário
4. Roteiro de utilização do Stellarium
5. Cosmo Guarani
6. História do Modelo de Universo

ROTEIRO DE CONSTRUÇÃO DE RELÓGIO SOLAR

Um dos instrumentos mais básicos de medida do tempo é o relógio. O primeiro tipo de relógio a ser construído foi o relógio solar. Ele permite acompanhar o passar do dia através da sombra de algum objeto. Vamos construir um simples, usando apenas papel e fita adesiva.

1. Materiais para o relógio

Vamos precisar de um pedaço de papel e um pouco de fita adesiva. Em geral, meia folha de caderno é o suficiente para o relógio e apenas um pedaço pequeno de fita.

2. Construindo a base do relógio

A base do nosso relógio será um pedaço de papel retangular, com aproximadamente três dedos de largura por oito de comprimento. Podemos usar uma régua para cortar um pedaço de 5 cm por 15 cm, aproximadamente. As dimensões não precisam ser precisas, desde que o papel seja retangular e grande o suficiente.

3. Construindo o ponteiro do relógio

O ponteiro do nosso relógio também será um pedaço de papel. Dessa vez, recorte um papel bem fino e com uns seis dedos de comprimento. Pode fazer, se tiver uma régua, um papel de 1 cm por 10 cm.

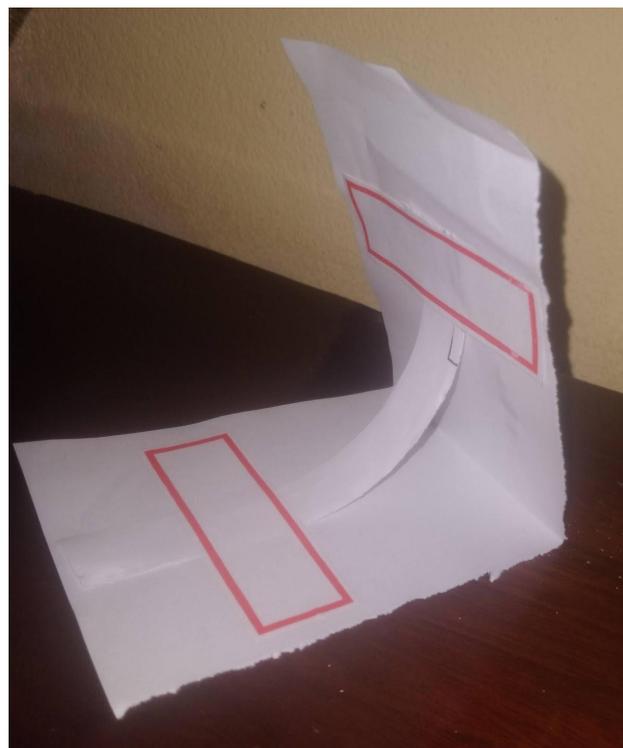
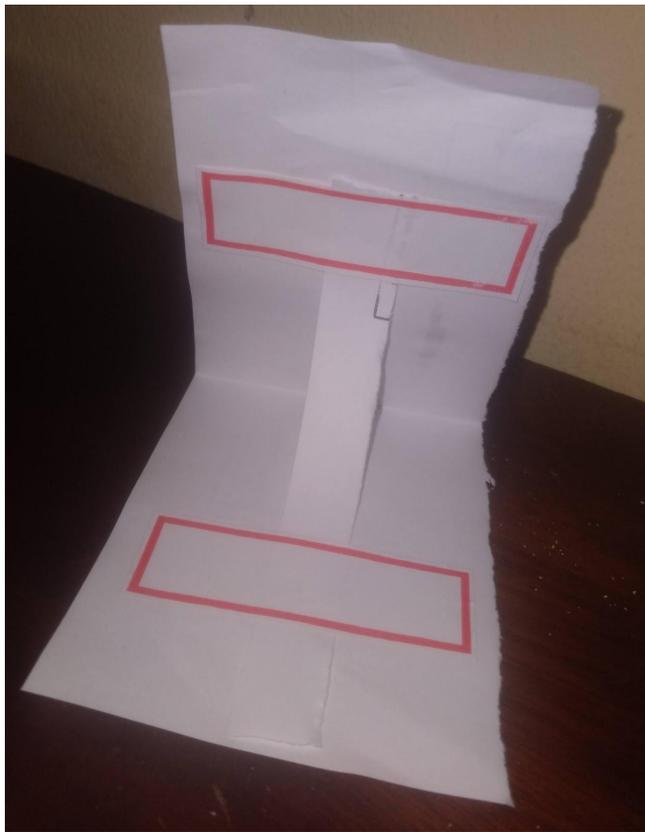
4. Montando o relógio

Dobre a base ao meio ao longo da largura. No meio de cada aba, cole a ponta do ponteiro, de forma que não consiga mais abrir a base por completo. Se precisar, corte o excesso de papel do ponteiro após a colagem. Veja a imagem a seguir de exemplo.

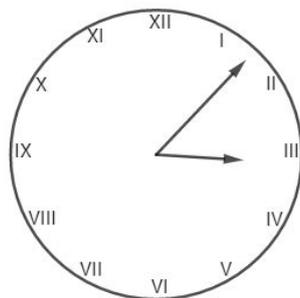
5. Utilizando o relógio

Vá a um local com sol e procure o Ponto Cardeal Sul. Aponte o relógio para este ponto, alinhando o ponteiro com a direção norte-sul. A sombra feita pelo ponteiro na base do relógio serve para indicar as horas.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI



MARCAÇÃO DO TEMPO



Provavelmente quando falamos em tempo, uma imagem parecida com a acima vem na cabeça da maioria de nós: um relógio. Nós marcamos o tempo em nossas vidas com várias finalidades: organizar nossa rotina, nossos compromissos, saber datas como o aniversário de casamento, horários como a hora de tomar um remédio, marcar a duração de eventos como filmes e viagens. E pra isso nós utilizamos relógios, calendários, agendas, cronômetros. Uma diversidade de métodos é usada para acompanhar, marcar e medir a passagem do tempo em nossa vida cotidiana.

Agora, quando precisamos dizer o que é o tempo, a história é outra. Alguns diriam que é a passagem das horas, dias; outros que é a sensação de mudança que há em nossa vida. Mas o que sabemos é que o tempo é um conceito presente na Física e que se faz indispensável em toda nossa vida. Para entendermos melhor, podemos tentar acompanhar o surgimento do conceito e do estudo do tempo.

O ser humano, observando o mundo que o cercava e tentando dominá-lo para garantir sua sobrevivência enquanto indivíduo e espécie, percebeu algumas coisas interessantes. Primeiro que as coisas estão sempre mudando: objetos se movem, pessoas envelhecem, árvores crescem, rios correm, a areia desce em uma ampulheta.

Outra percepção é a da existência de ciclos dentro dessas mudanças: o sol some e aparece sempre ciclicamente, a chuva vai e vem, as estrelas caminham no céu, as pessoas e os animais têm ciclos reprodutivos. Essa ideia de repetição se liga também ao sagrado: aquilo que é sagrado, como o céu e os rituais, não muda. A mudança aparente é apenas o começo de um novo ciclo.

Foi usando especialmente esses ciclos que o ser humano começou a realmente medir a passagem do tempo. O nascer do sol indicava o começo de um novo dia. A lua nova, o começo de um novo mês. A chegada da primavera, o começo de um novo ano. Mas não era só isso.

MARCAÇÃO DO TEMPO

As estações diziam quando eles podiam caçar, plantar, colher e pescar. O momento do dia dizia se era o momento de trabalhar ou de descansar, se abrigar. A fase da lua dizia se era maré boa ou ruim, noite de caça ou não. O tempo não era só a repetição dos ciclos, mas determinava como as pessoas viveriam. Não só essas atividades mais práticas, mas rituais, festas e atividades religiosas em geral também ocorriam em momentos muito específicos.

Para acompanhar tais ciclos e organizar suas atividades de acordo com eles, o ser humano foi criando instrumentos. Os calendários sempre foram uma forma importantíssima de marcar a passagem do tempo, nesse sentido.

Um tipo de calendário é o lunar, ou seja, que só se preocupa com as fases da Lua. Pode até haver o correspondente a um ano de quatro estações, mas essa não é a preocupação. Esse calendário serve para acompanhar as fases da Lua e regular as atividades que dependem, de alguma forma, dela. Um exemplo é o calendário árabe, mantido sempre ajustado por observações e cálculos precisos. Abaixo temos uma correspondência entre o calendário árabe e o nosso, chamado gregoriano, para 2021.

Mês e Ano	Início correspondente no gregoriano
Jumada al-thani 1442	14/01/2021
Rajab 1442	13/02/2021
Shaban 1442	15/03/2021
Ramadan 1442	13/04/2021
Shawwal 1442	13/05/2021
Dhu al-Qidah 1442	12/06/2021
Dhu al-Hijjah 1442	11/07/2021
Muharram 1443	10/08/2021
Safar 1443	08/09/2021
Rabi al-awwal 1443	08/10/2021
Rabi al-thani 1443	06/11/2021
Jumada al-awwal 1443	06/12/2021

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Também existem calendários que se preocupam com as estações do ano. Um deles é o calendário solar. Ele busca acompanhar as estações do ano seguindo, por exemplo, o ponto onde o Sol nasce. Calendários desse tipo são raros e mais raros ainda os que funcionam para o ano inteiro ou por muito tempo. Podem se basear, por exemplo, em alinhamentos do nascer do Sol.

Ainda falando de calendários que seguem as estações do ano, há o calendário sideral. Ele se baseia em acompanhar o movimento anual de uma determinada estrela, constelação ou outro objeto do tipo. Isso é possível porque ao longo do ano os horários em que uma estrela está visível vão mudando. Assim as estações podem ser acompanhadas vendo a primeira ou a última aparição de uma determinada estrela ou constelação. Isso não necessariamente tem a ver com o horário de nascimento ou ocaso, apenas, pois envolve também os horários de nascimento e ocaso do Sol, que normalmente ofusca tais estrelas.

Existem ainda calendários que se preocupam com o alinhamento dos dois ciclos, ou seja, os meses sinódicos e as estações: são os calendários lunissolares. Independente se as estações são acompanhadas com o sol ou estrelas, os calendários se chamam lunissolares. Em geral, cada mês corresponde ao mês sinódico, ou seja, às fases da Lua. Os doze meses, entretanto, não formam o ciclo das quatro estações e, portanto, periodicamente adiciona-se um 13º mês, ou alguma outra forma de compensação.

Junto a todos esses está o que podemos chamar de calendário cultural. Esse é o calendário que acompanha os fatos que marcam um determinado grupo. O calendário escolar, com as datas de aulas e férias; o calendário da igreja, com Natal, Páscoa e outras datas religiosas; o calendário da sua casa, com os aniversários das pessoas que moram com você. Esses calendários se preocupam com atividades humanas, coletivas.

Um calendário “final” seria a junção do astronômico com os culturais. Eles se preocupam em sincronizar e ajustar todas as datas, astronômicas, civis, escolares e pessoais. A “folhinha” atrás da porta é um exemplo: além de acompanhar o ano solar, ela aponta as fases da Lua, as datas comemorativas mais importantes e você pode usar para anotar datas importantes para você.

Espero que agora você veja os calendários e a própria passagem do tempo como construções e ideias essencialmente humanas. Se nós não estivéssemos aqui, o tempo passaria da mesma forma, o céu continuaria seu movimento, mas ninguém estaria aqui para determinar quando é o Ano Novo, seu aniversário ou quando começa julho.

ROTEIRO DE CONSTRUÇÃO DE CALENDÁRIO

Agora que você conhece o significado cultural dos calendários e os tipos que existem, astronômicos ou não, vamos construir os nossos próprios instrumentos de marcação do tempo.

1. Tipo

Monte um grupo de até x pessoas e, juntos, escolham um dos tipos de calendário (lunar, solar, sideral, lunissolar ou cultural) para montar.

2. Determinando datas e ciclos

Baseados no tipo de calendário escolhido, determinem o ciclo que vão acompanhar e o dia que marcará o início de tal ciclo.

Ex.: calendário baseado nas datas religiosas que segue o ano, e começa no Natal.

3. Acompanhando o ciclo

Determinem duas formas de acompanhar o ciclo: uma que vão usar para construir em sala o calendário e outra que pode ser usada numa validação do calendário.

4. Construindo o calendário

Construam um calendário baseado no método que escolheram que se aplique a todo o ano corrente, como no exemplo do calendário árabe do texto.

5. Adicionando elementos pessoais

Adicionem no calendário datas importantes para o grupo, como o aniversário dos integrantes ou outras datas marcantes para vocês.

ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO STELLARIUM

Vamos observar agora os movimentos que podemos ver no céu e que são utilizados para a construção do calendário. Para observá-los, utilizaremos uma simulação, o *software* chamado Stellarium. Após receber as instruções iniciais de seu funcionamento, siga os passos a seguir.

1. Observando o dia e a noite

Observe, ao longo de um dia, o movimento diurno que o Sol faz no céu e também o movimento noturno das estrelas e da Lua. Descreva o que observou, atentando para pontos cardeais e horários.

2. Observando as fases da Lua

Observe a Lua, seu nascimento e ocaso ao longo de um mês. Descreva o que observou, atentando para os horários e taxa de iluminação.

3. Observando o nascer do Sol

Observe o nascer do Sol ao longo de um ano. Essa parte será semelhante ao vídeo apresentado. Descreva o que observou, atentando para pontos cardeais e horários.

4. Observando a Constelação do Homem-Velho

Procure a constelação do Homem-Velho e observe seu movimento anual, especialmente quando ela passa a ser visível à noite. Descreva o que observou, atentando para pontos cardeais e horários.

5. Observando a Constelação da Ema

Repita o passo anterior, desta vez para a constelação da Ema.

COSMO GUARANI

Uma descrição da Astronomia Guarani, além de seu calendário, passa pela descrição dos elementos que surgem no céu. Para os Guarani, o céu abriga deuses, espíritos dos antepassados e elementos da natureza. Estudar o céu sob seu ponto de vista é estudar sua história, sua religião, sua ciência e sua vida.

Sol e Lua

Para os Guarani, o Sol e a Lua são dois irmãos, chamados *Kwaray* e *Djatxy*, respectivamente. *Kwaray* é o irmão mais velho e ambos são caçadores, por isso estão sempre em movimento no céu.

Entretanto, o Sol desempenha vários papéis na cultura Guarani, sendo *Kwaray* apenas um deles, o do sol enquanto objeto celeste, e não divindade.

Histórias sobre os irmãos *Kwaray* e *Djatxy* contam sobre suas caças a onças que até hoje os perseguem, causando os eclipses; relações familiares conturbadas, causando as manchas lunares; casamentos, causando as fases da Lua.

Constelações

Duas constelações importantes para os Guarani são *Guyra Nhandu* (Constelação da Ema) e *Tudja'i* (Constelação do Homem Velho). Elas ajudam a marcar as estações do ano, sendo *Tudja'i* relacionada ao verão e *Guyra Nhandu* ao inverno.

A narrativa sobre o Homem Velho, que fica na região das chamadas Três Marias, fala de um homem que era casado com uma mulher mais nova que ele, que se apaixona pelo seu irmão caçula. Para se livrar do esposo idoso, ela corta a perna dele, deixando-o sangrar até a morte. Os deuses se compadecem e levam ele para morar no céu. Ele pode ser visto com seu cocar, uma bengala e sua perna cortada sangrando, já que a estrela que forma sua ponta é Betelgeuse, uma estrela vermelha.

Já a Ema se localiza perto do que costumamos chamar de Cruzeiro do Sul. Conta-se que o Cruzeiro do Sul segura a Ema para que sua cabeça não deite sobre a Terra e beba toda a água do planeta. Na garganta da Ema, estão dois ovos que ela já engoliu.

Cabe notar que as constelações indígenas são diferentes das ocidentais não só em suas narrativas e construções, mas no próprio método de construção. Enquanto as principais constelações ocidentais estão perto da eclíptica, ou seja, do caminho

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

que o Sol percorre ao longo do ano, as indígenas se encontram perto do plano da Via Láctea.

Além disso, os desenhos são extremamente complexos e utilizam as manchas da Via Láctea para constituir as imagens, enquanto as constelações ocidentais são apenas representações que utilizam as estrelas em configurações muito mais abstratas.

Pontos Cardeais

Um importante conceito em Astronomia são os pontos cardeais. Além dos quatro normalmente conhecidos da Geografia (norte, sul, leste, oeste), a Astronomia costuma lidar com mais um: o zênite, o ponto mais alto do céu.

Na Astronomia Guarani, os pontos cardeais são associados às moradas dos deuses, especialmente de acordo com o papel que cumprem no movimento diurno do Sol, o caminho de *Kwaray*. Norte e sul são a morada de *Idjyke*. O leste é a morada de *Karai* e *Nhamandu*. O oeste é a morada de *Tupã*. O zênite é a morada de *Djakaira*.

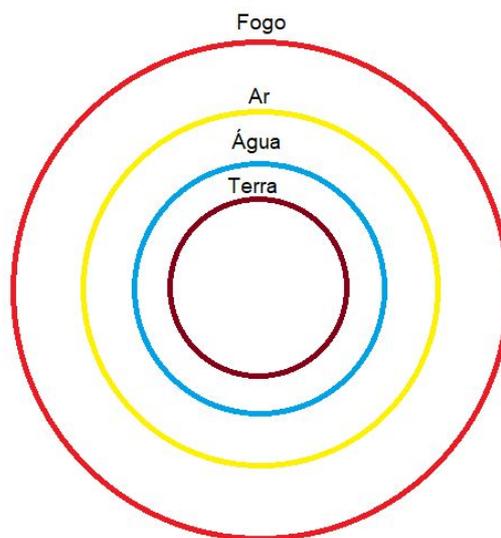
É através dos pontos cardeais e a aproximação ou afastamento do Sol em relação a eles que os Guarani conseguem se localizar, espacial e temporalmente, como observado na discussão sobre seu calendário.

HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

A história dos modelos de Universo construídos pela Ciência se confunde com a história das ideias de movimento, da ideia de gravidade e da própria Ciência. Por isso, nem sempre falamos só do movimento dos planetas nesse texto, mas também de inércia, pêndulos e método experimental.

Desde que o ser humano surgiu ele pensa sobre tais questões, mas começaremos nossa história em Aristóteles, na Grécia Antiga. A Filosofia que ele herdou, deu continuidade e desenvolveu ainda mais, tratava o movimento como um sinônimo de transformação. O que hoje chamamos de movimento, especialmente na Mecânica, eles chamavam de movimento local, ou deslocamento.

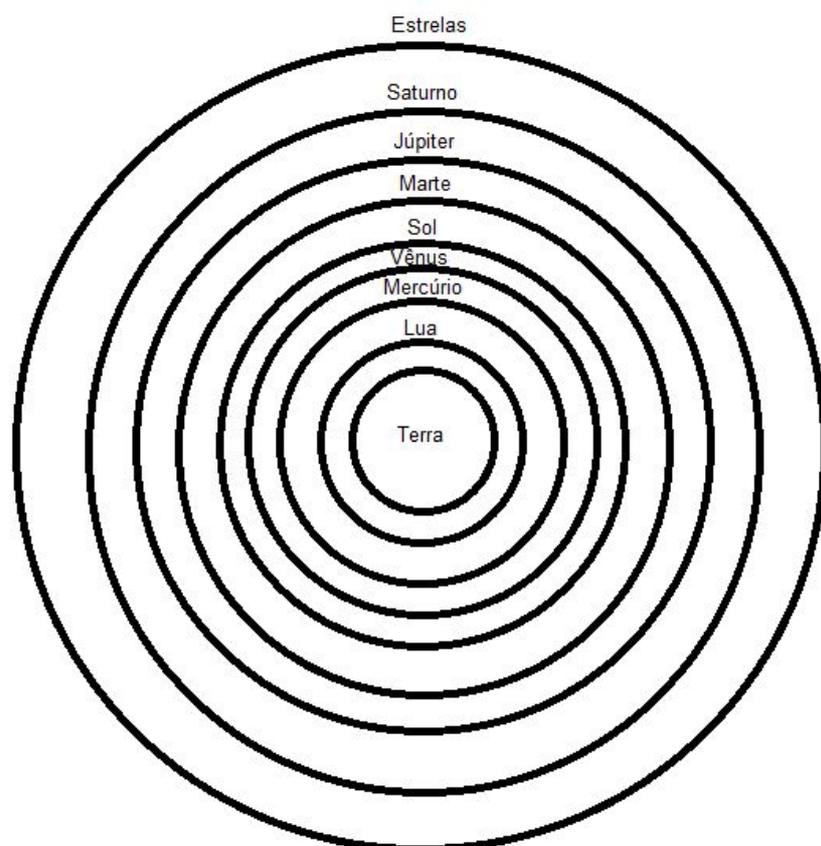
Outra diferença é o que eles consideravam ser a composição do mundo. Aristóteles adota uma linha, nascida com Empédocles, que considera quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Eles se conectam à explicação dos movimentos (especialmente os que hoje chamamos de queda livre) por meio do conceito de lugar natural. Cada um desses elementos teria uma posição bem definida, por meio de esferas concêntricas. Quando fora dessa posição, ele naturalmente e em linha reta, se deslocaria para ela. O elemento terra cairia e o elemento fogo subiria, por exemplo.



Uma exceção são os corpos celestes. Na concepção de Aristóteles a Terra era o centro do Universo, imóvel e, por isso, os corpos celestes aparentam desenvolver movimento circular uniforme. Como eles pareciam fugir à regra do movimento natural, a explicação era de que eles eram feitos de um quinto elemento, o éter. Essas concepções tem parte de sua origem em Pitágoras.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

O éter teria características especiais que davam a ele uma propriedade de simetria, ligada ao conceito de perfeição muito comum na Filosofia grega. Essa perfeição envolvia um movimento eterno e simétrico, ou seja, circular uniforme. Essa diferenciação criou então uma divisão fundamental no Universo. Havia um mundo sublunar, imperfeito, com os quatro elementos e movimento natural reto. Havia um mundo supralunar, perfeito, com éter e movimento natural circular. Ambos estariam limitados pela esfera das estrelas fixas, fazendo o universo limitado, finito, impedindo movimentos eternos em linha reta.



Na concepção de Aristóteles, a rapidez da queda (não havia o conceito de velocidade definido como hoje em dia) era constante e dependia da tendência do corpo. Corpos mais pesados caem mais rapidamente. Outro fator era a resistência do meio, conceito vago mas que se relaciona com as forças de atrito, arrasto e com a própria ideia de inércia moderna. A rapidez diminui com o aumento da resistência.

No deslocamento aristotélico não havia inércia nem ação à distância. Quem garantia o movimento natural era uma tendência intrínseca ao corpo. Da mesma forma, o lançamento de projéteis, que envolvia um movimento, natural, para baixo e um movimento, chamado violento, na horizontal, era garantido pois quem lançava o projétil fazia com que o ar o empurrasse.

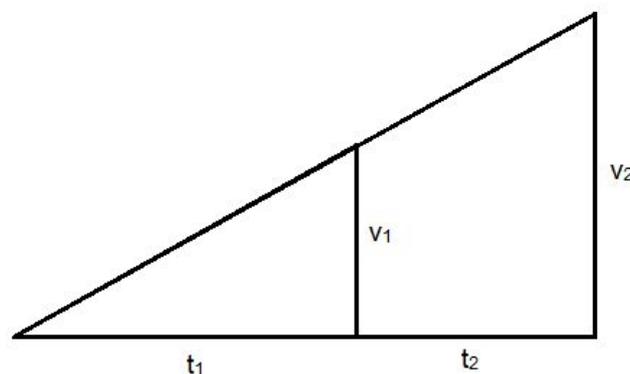
HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

Já na Idade Média, Guilherme de Ockham, aplicou ao movimento local o que conhecemos hoje como Navalha de Ockham: não usar para explicar algo mais do que o necessário. Aplicando-a ao movimento, Ockham disse que não deveriam recorrer a conceitos como lugar natural ou ao fato de o ar empurrar os projéteis. As causas e explicações do movimento deveriam estar nele próprio. Além disso, Ockham separou as causas do movimento de sua descrição.

Usando as ideias de Ockham, o chamado Colégio de Merton desenvolveu algumas teorias que hoje chamamos de Cinemática, se preocupando apenas com a descrição dos movimentos. Em termos da Filosofia, eles concebiam o movimento como uma qualidade. Para as qualidades, eles buscavam descrever uma intensidade, medida em graus. No caso do movimento, a intensidade era a velocidade. A análise deveria ser então da mudança da intensidade ao longo de uma reta abstrata, chamada extensão. No caso do Colégio de Merton, a extensão era o tempo.

A partir dessas ideias, eles definiram a velocidade como o deslocamento no tempo e a aceleração como a mudança da velocidade no tempo. Definiram ainda a chamada velocidade instantânea, ou seja, o deslocamento em um tempo muito pequeno.

Com essas ideias e usando Geometria, a Matemática que possuíam na época, eles estudaram movimentos uniformes, uniformemente variados e lançaram as bases dos gráficos da velocidade em função do tempo, inclusive calculando o deslocamento a partir da área desse gráfico.



Um resultado importante dos chamados mertonianos é o Teorema da Velocidade Média que diz que em um movimento uniformemente variado, o deslocamento é o mesmo que se fosse um movimento uniforme desenvolvido com a velocidade média.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

A explicação dos movimentos ficou por conta especialmente do conceito de *impetus*, desenvolvida por Buridan e Oresme: quando um corpo era posto em movimento, pela ação de algum outro corpo (movimento violento) ou pela sua tendência ao lugar natural (movimento natural) ganhava *impetus*, que mantinha o movimento, se opondo à resistência a este. Oresme teve também influência no Colégio de Merton.

Após a Idade Média, Galileu, desenvolvendo o que hoje conhecemos como método experimental, concluiu, através de pêndulos e planos inclinados, que a queda era um movimento uniformemente variado. Sabendo disso, aplicou o Teorema da Velocidade Média e chegou a relações entre as distâncias percorridas, os tempos e as velocidades. Em notação moderna, podemos chegar a relações com a aceleração, inclusive.

Entretanto, Galileu usava conceitos errôneos para explicar tais fenômenos. Ele considerava o que conhecemos como inércia circular, ou seja, uma tendência dos corpos a manterem um movimento paralelo à Terra. Além disso, achava que a gravidade estava relacionada à proximidade com o centro da Terra.

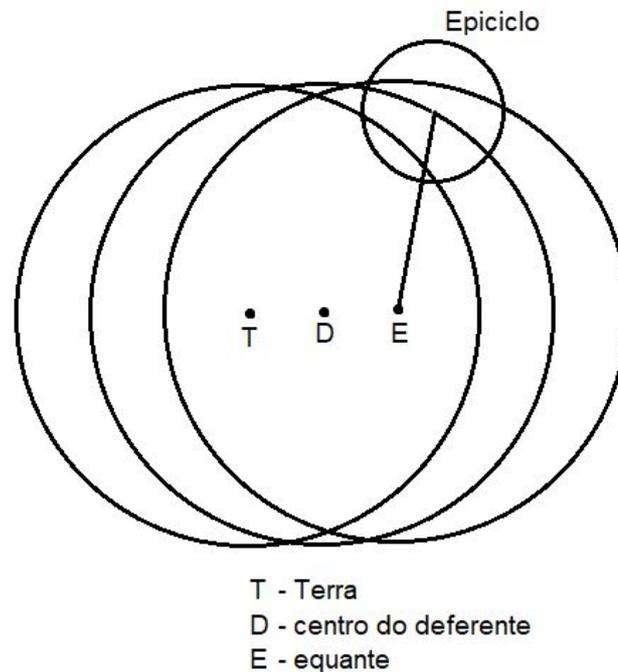
Ainda assim, usando a inércia circular, Galileu desenvolveu o conceito de relatividade do movimento, ou seja, que todo movimento é relativo a algo, e com isso explicava, por exemplo, o lançamento de projéteis que pareciam indicar uma Terra imóvel. A verdade é que o movimento da Terra era comum ao projétil, não havendo movimento relativo. Após o lançamento, por inércia, apenas o movimento dado pelo lançamento surgia, sem alterar o movimento que o projétil já tinha.

Enquanto Galileu descrevia e explicava os movimentos na Terra, no mundo sublunar, outros trabalhavam nos movimentos supralunares, na Astronomia. E esses trabalhos também possuíam antecedentes que remontavam à Antiguidade.

O modelo aristotélico do movimento circular uniforme não condizia com algumas anomalias astronômicas observadas no movimento dos planetas: a retrogressão, movimento que alguns planetas fazem na direção contrária à regular; variações no movimento, alterando o tempo gasto para percorrer um mesmo arco; variações no brilho, que associavam à aproximação e afastamento da Terra.

HISTÓRIA DO MODELO DE UNIVERSO

Ainda na Antiguidade, a principal solução foi dada por Ptolomeu, no livro *Almagesto*, onde ele inseriu três elementos fundamentais: o epiciclo, um círculo cujo centro orbitava a terra em movimento circular uniforme e no qual o planeta se movia da mesma forma; a excentricidade do deferente, fazendo a Terra não coincidir com o centro do círculo percorrido pelo centro do epiciclo; o equante, fazendo a velocidade regular do epiciclo ser medida em relação a um ponto que não fosse o centro do deferente.



Isso resolvia as anomalias, mas inseriu uma série novos elementos. Após a Idade Média, somente, que Copérnico propõe um modelo em que o Sol é o centro do Universo e a Terra e outros planetas giram em torno dele. Com isso, Copérnico retira o equante e supõe uma terra móvel. Copérnico naturalmente não criou essa suposição do nada. Ela havia sido levantada já na Grécia Antiga, por Aristarco de Samos, e em uma versão diferente na Idade Média, por Nicolau de Cusa.

Galileu defende o modelo copernicano, que sua física ajuda a consolidar. A relatividade do movimento e a inércia circular ajudam a explicar os movimentos na Terra móvel de Copérnico. As observações de Galileu com seu telescópio apontam para um Universo maior e mais rico do que se imaginava, do qual a Terra não é o único centro. Antes das observações de Galileu, entretanto, Giordano Bruno havia alterado a noção de Cusa sobre Universo ilimitado (limite desconhecido) para de um Universo infinito, e pagou por isso com sua vida.

GUIA DIDÁTICO DE ETNOASTRONOMIA GUARANI

Tycho Brahe obtém, utilizando equipamentos poderosos, observações e medidas muito precisas de vários planetas. Um deles parecia causar grande problema: Marte. Sua órbita diferia muito dos modelos ptolomaico e copérnico. O próprio Tycho tinha um modelo, não aceitando a visão copernicana, no qual Marte também não se encaixava.

O assistente de Tycho, Johannes Kepler, exímio matemático, começa a testar várias suposições com as órbitas, especialmente a de Marte, dentro do modelo copernicano: órbitas circulares, diferentes posicionamentos e tamanhos. Por fim, obtém três leis do movimento celeste: as órbitas são elípticas e o Sol está em um foco; o segmento que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais; o quadrado do período de órbita e o cubo do raio médio desta são proporcionais. Com isso, Kepler resolve os problemas das órbitas dos planetas em termos descritivos, mas ainda não explica o que causa tais regularidades, por mais que tente usar o conceito de magnetismo.

Tal tarefa, caberia à Newton.

