



Projeto de um Relógio Solar de Plano Inclinado

Izadora S. Cardoso¹, Renata C. C. Vilela¹, Carlos A. A. Oliveira²

¹Alunas concluintes do curso técnico em eletrotécnica do IFAL – Campus Palmeira dos Índios. Email: izadora.soares@gmail.com

²Professor e pesquisador do IFAL – Campus Palmeira dos Índios. Doutorando do PROTEN - UFPE. Email: caaoliveira@gmail.com

Resumo: O relógio solar é um instrumento que mede as horas baseado na sombra produzida pelo movimento aparente do Sol em uma superfície de leitura. Neste trabalho, foi projetado um relógio solar que utiliza um plano inclinado como mostrador e uma haste vertical como ponteiro para ser instalado nas dependências do IFAL – Campus Palmeira dos Índios. Para isto, expressões clássicas da geometria solar foram adaptadas para a geometria do relógio desejado. O ângulo de inclinação do plano do mostrador foi escolhido de forma a se obter um formato simétrico para o instrumento. Foram escolhidos sete dias do ano para gerar as curvas que serviram como referência na marcação das horas do mostrador do relógio. Com o auxílio de um software matemático, as expressões foram alimentadas com as coordenadas (latitude e longitude) do local onde será instalado o instrumento e com os demais parâmetros de projetos para obtenção dessas curvas de referência. Devido à diferença existente entre a hora indicada por um relógio solar e a hora oficial, foi construído ainda um gráfico de ajuste do tempo para que estas horas possam ser corrigidas pelo observador do relógio. Para verificar a validade das expressões utilizadas, foi criado um protótipo do relógio solar e foram feitas medições experimentais durante um dia. As medidas obtidas foram tratadas e comparadas com os resultados teóricos para o dia do experimento e foi possível evidenciar a validade das expressões desenvolvidas. Os resultados experimentais também permitiram observar preliminarmente uma boa precisão para o instrumento projetado e a necessidade de uma instalação cuidadosa do mesmo. Os próximos passos deste trabalho serão a elaboração do projeto arquitetônico e a construção do relógio projetado.

Palavras-chave: geometria solar, projeto arquitetônico, relógio solar

1. INTRODUÇÃO

O relógio solar é um instrumento utilizado para observar e medir o intervalo das horas ou do tempo por meio do modo como a luz do Sol se sobrepõe na Terra em vários pontos, devido ao movimento de rotação do planeta. A necessidade de conhecer as horas é algo especificamente social e restrita aos seres humanos, uma vez que animais e plantas não necessitam de tais informações. O indício mais antigo da divisão do dia é proveniente de um relógio de sol egípcio, datado de 1.500 a.C. (FREITAS, 2012).

Existem diversos tipos de relógios solares, porém a atenção será retida para os construídos em um plano inclinado. Alguns deles podem ser construídos de forma simples, entretanto sua precisão será limitada. Quanto melhor desenvolvido ou projetado para ser aplicado em uma região específica, maior será a precisão do horário exibido pelo mesmo. No caso de um modelo que utiliza um plano inclinado como mostrador das horas, uma haste vertical produzirá sombras neste plano que dependerão da hora do dia, do dia do ano e do local no qual se encontra instalado. Linhas de referência presentes no plano servirão para que o observador leia as horas a partir da sombra produzida pela haste.

As horas marcadas pelo relógio desenvolvido não são equivalentes as horas oficiais devido ao fato de que as horas projetadas no mostrador (hora solar) não são iguais as horas convencionais (horas oficiais). Este fato se dá porque o horário oficial local é especificado fazendo relação com o horário oficial de Brasília, Distrito Federal. Portanto, em cada localidade cuja longitude é diferente do meridiano padrão, a hora mostrada precisará ser corrigida e adaptada ao local (RABL, 1985). Tais adaptações e correções são importantes para a pesquisa, pois fazem uma ligação direta com o estudo do movimento do planeta Terra em torno do Sol e em torno de si mesmo, trazendo para o trabalho experimentos e comprovações baseados em expressões e estudos físicos, solares e geográficos.



A construção de um relógio solar nas dependências do instituto, sobretudo em uma área de boa circulação e fácil acesso, além de despertar a curiosidade das pessoas, servirá como apoio no estudo de disciplinas como geografia, energia solar, desenho arquitetônico, etc. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e construir um relógio solar de razoável precisão nas instalações do Instituto Federal de Alagoas - Campus Palmeira dos Índios. Este relógio será do tipo que usa um plano inclinado como mostrador e uma haste vertical como ponteiro. Inicialmente foram feitos todos os cálculos para a construção do mostrador do relógio, onde se pôde obter as curvas de referência do mesmo. Em uma segunda etapa do trabalho, será feito o projeto arquitetônico e a construção do relógio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Dado que o projeto de um relógio solar depende da localização do mesmo, foi necessário verificar os valores de latitude e longitude encontradas em pesquisa referentes à cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas. A verificação foi feita com o auxílio de um aparelho de GPS, sendo encontrados os valores de latitude de $9,41^\circ$ Sul e longitude de $36,66^\circ$ Oeste.

As expressões usadas para o cálculo das sombras produzidas pela haste vertical no plano inclinado do relógio são baseadas nas expressões usadas por Lima et al. (2000), que têm como referência as equações básicas da geometria solar apresentadas por Duffie; Beckman (2006) e Rabl (1985). Com a aplicação das coordenadas locais nas expressões matemáticas, foi possível obter os resultados do sombreamento adaptados para o local onde ficará situado o instrumento. A sombra projetada pelo topo da haste produz, para cada dia do ano, uma curva no plano do mostrador do relógio. Assim, alguns dias do ano são escolhidos como referência para construção deste mostrador. Para este trabalho, foram escolhidos sete dias que produzem sete curvas usadas como referência. Estes dias estão listados na Tabela 1 juntamente com a descrição da característica que levaram a escolha de cada um deles.

Tabela 1 – Dias selecionados para gerar as curvas de referência para o mostrador do relógio.

Dia do Ano	Descrição
21 de Junho	Solstício de Inverno no hemisfério Sul
21 de Dezembro	Solstício de Verão no hemisfério Sul
21 de Março	Equinócio que marca a entrada do Outono no hemisfério Sul
27 de Fevereiro	Dia em que a declinação solar* coincide com a latitude do local
21 de Janeiro	Dia sem particularidade, usado para completar a marcação do plano
21 de Abril	Dia sem particularidade, usado para completar a marcação do plano
21 de Maio	Dia sem particularidade, usado para completar a marcação do plano

*Ângulo formado pela órbita aparente do Sol e o plano do equador.

Embora tenha sido escolhido um total de sete curvas de referência, esse número poderia ser maior ou menor. Com poucas curvas existirá um vazio no mostrador do relógio que dificultará a leitura em certos dias do ano. Mas um número excessivo de curvas irá sobrecarregar a imagem do mostrador, dificultando também a leitura das horas. O melhor resultado é obtido escolhendo o maior número possível de curvas de referência sem sobrecarregar a imagem, o que depende das dimensões escolhidas para o instrumento.

Como se trata de um relógio solar com plano inclinado, deve-se definir também a inclinação que se dará a este plano. O ângulo de inclinação do mostrador influencia diretamente na sombra projetada pela haste e conseqüentemente no formato das curvas de referência. Foi escolhido um ângulo de inclinação que eliminasse em parte os efeitos da latitude do local. Para isto basta inclinar o plano em direção ao hemisfério oposto ao da localização do instrumento de um ângulo igual à latitude do local. Assim, o relógio projetado neste trabalho deve ter seu plano inclinado em $9,41^\circ$ em direção ao hemisfério Norte.



Uma vez que o relógio projetado exibe a chamada hora solar, faz-se necessário corrigir a hora mostrada pelo instrumento de forma a se obter o horário oficial. A hora solar e a hora oficial estão relacionados pela expressão

$$HoraSolar = HoraPadrão + Ajuste \quad (\text{Equação 1})$$

O fator *Ajuste* a ser aplicado depende do dia do ano e da localização do relógio e é dado, em minutos, pela expressão (RABL, 1985)

$$Ajuste = 4 \cdot (L_{pad} + L_{loc}) + E \quad (\text{Equação 2})$$

onde L_{pad} é o meridiano padrão da hora oficial local, em graus, L_{loc} é a longitude do local onde estará fixado o relógio solar, em graus, e o fator E é dado, em minutos, por (RABL, 1985)

$$E = 9,87 \cdot \text{sen}(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \text{sen}(B) \quad (\text{Equação 3})$$

sendo B dado, em graus, por (RABL, 1985)

$$B = \frac{360^\circ}{364} (n - 81) \quad (\text{Equação 4})$$

O fator de ajuste pode então ser calculado para a localização do relógio e apresentado na forma de tabela ou de um gráfico. Dado que este fator é diário, sua apresentação na forma de tabela para um ano completo se torna inviável, o que levou a escolha da forma gráfica. Assim, para que a hora seja informada corretamente pelo instrumento, o observador deverá ler a hora solar através do mostrador do relógio e aplicar o fator de ajuste para o dia da leitura que constará em um gráfico disponível junto ao instrumento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software Mathcad foi utilizado para a implementação das expressões e obtenção dos resultados. O procedimento escrito permite ainda que se alterem os dados do cálculo, aumentando ou diminuindo o número de dias ou de pontos no mostrador do relógio. Como mencionado anteriormente, o número de dias escolhido como referência foram sete. Um relógio solar pode mostrar as horas desde o nascer até o pôr-do-sol, mas para o formato de relógio escolhido, as primeiras e as últimas horas do dia produzem sombras demasiadamente longas, exigindo grandes dimensões para o instrumento e um local de instalação livre de sombreamento por construções ou árvores. Inicialmente, foi escolhido um mostrador com marcações de horas das 08:00h até as 16:00h. Estas definições de projeto, juntamente com a inclinação escolhida resultaram no mostrador apresentado na Figura 1, onde constam também os eixos de orientação do plano. A haste deve estar localizada no cruzamento destes eixos.

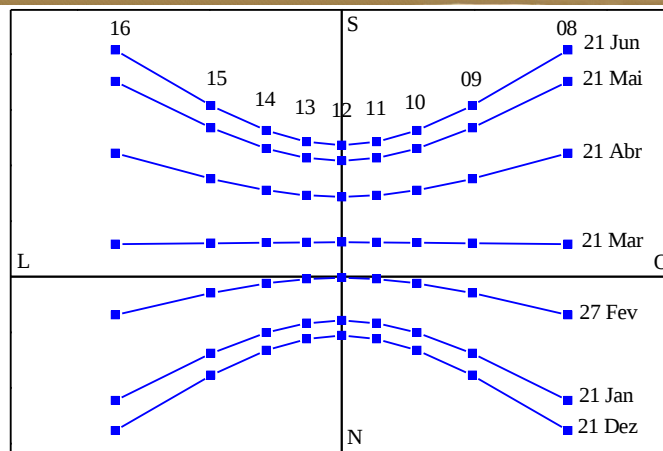


Figura 1 – Plano do mostrador do relógio contendo as sete curvas de referência.

A simetria observada no mostrador do relógio projetado se deve a escolha do ângulo de inclinação do mesmo. Os dias 21 de Junho e 21 de Dezembro demarcam os limites das sombras produzidas pela haste, estando todos os demais dias do ano contidos nesta região delimitada. Em cada curva de referência apresentada, estão marcados nove pontos que representam as horas solares exatas. Elas variam das 8:00h às 16:00h e nos intervalos entre dois pontos seqüenciais são lidos os 60 minutos que separam as suas horas equivalentes. Em dias diferentes dos apresentados no mostrador é necessário fazer a leitura pela curva que mais se aproxima do dia no qual se deseja ler a hora.

A conversão da hora solar para hora oficial deve ser feita através do fator de ajuste mostrado na Figura 2. No gráfico, as abscissas marcam a mudança dos meses do ano, partindo de janeiro e chegando a dezembro, enquanto suas ordenadas indicam o tempo que se deve acrescentar a hora marcada no mostrador. Vale salientar que o ajuste mostrado nesta figura é válido apenas para a localidade para a qual o relógio foi projetado. É possível observar grandes variações ao longo de determinados meses (Janeiro, Março, Setembro e Dezembro) e pequenas variações em outros meses (Fevereiro, Maio, Julho, Novembro). Existe a possibilidade de se apresentar o fator de ajuste como um valor médio mensal, o que facilitaria sua obtenção pelo observador, mas acarretaria em erros significativos para aqueles meses onde ocorrem grandes variações deste fator. Através do gráfico da Figura 2, o observador pode obter o fator de ajuste levando em consideração o dia do mês no qual está sendo realizada a leitura. Observa-se também que o fator de ajuste é sempre negativo para a localidade estudada, indicando que a hora solar será sempre adiantada em relação à hora oficial.

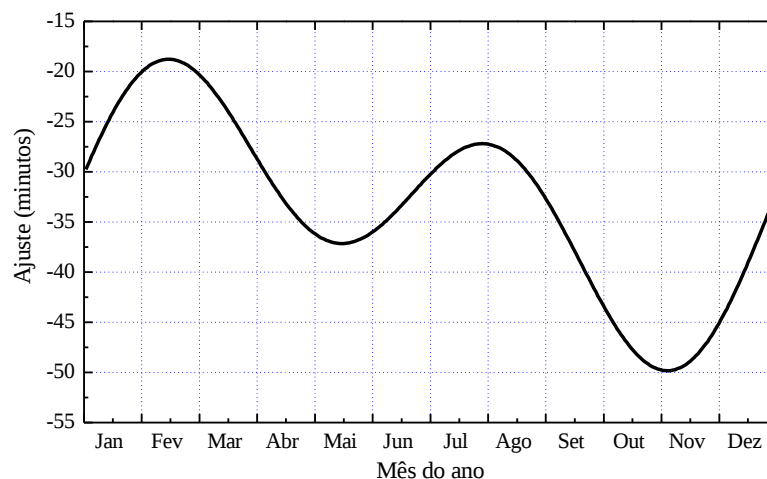


Figura 2 – Fator de ajuste a ser adicionado à hora solar lida no mostrador do relógio.

Para que fossem verificadas e comprovadas as expressões estudadas, criou-se um protótipo do relógio solar projetado que foi usado em testes experimentais. A montagem do protótipo e a realização das medições ocorreram no dia 29 de Junho. O protótipo foi inclinado e orientado de acordo com as definições de projeto, e as medições foram realizadas no período entre as 10:00h e as 16:00h, em intervalos de cerca de 10 minutos. Foram marcados os pontos projetados pela ponta da haste no plano do protótipo, onde se esperava formar uma curva semelhante às presentes no gráfico da Figura 1. O resultado obtido pode ser visto na Figura 3.

Durante as medições já foi evidenciado algum possível erro na orientação do plano do relógio. A orientação foi realizada com o auxílio de uma bússola, tendo sido feita a devida correção $22^{\circ}44'$, valor da declinação magnética no local, para que fosse indicado o Norte Verdadeiro. No entanto, a presença de uma estrutura metálica na fundação do terreno onde foi instalado o protótipo influenciou a indicação da bússola e acarretou em um erro na orientação do protótipo. Como esse erro foi evidenciado após já terem sido feitas inúmeras medidas, optou-se por continuar as medições e realizar uma correção posterior. O erro na orientação do plano do protótipo fica evidente quando se compara as medidas experimentais com a marcação teórica para o dia do experimento, como pode ser visto na Figura 3.

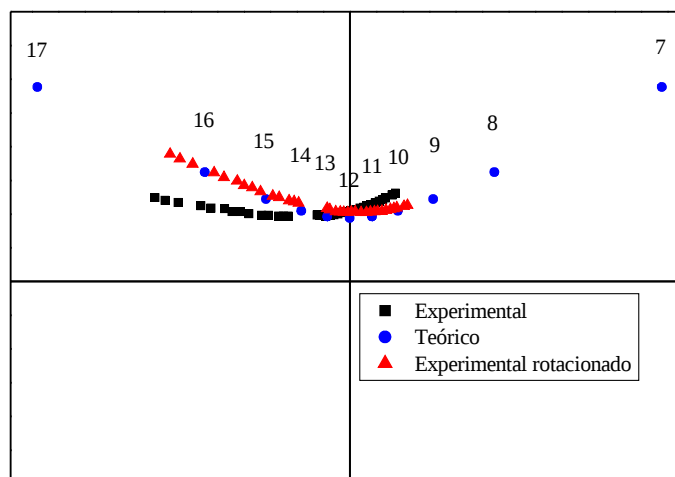


Figura 3 – Comparação entre medidas experimentais e teóricas da sombra no plano do relógio.

A correção da orientação foi feita através de uma rotação nas coordenadas de cada ponto de medição, utilizando as expressões clássicas para rotação de vetores ao redor da origem de um plano cartesiano (REIS; SILVA, 1997). Os dados foram rotacionados dez graus no sentido horário e aparecem como medidas experimentais rotacionadas na Figura 3. É possível observar uma excelente concordância com os dados teóricos para o dia da medição. A pequena diferença existente pode ser atribuída a erros na inclinação do plano e/ou no posicionamento da haste vertical. Mesmo com a existência desse pequeno erro, já é possível observar uma boa precisão do instrumento. A medição rotacionada que corresponde ao meio dia solar foi realizada as 11:34h no horário oficial. Pela Figura 2, o fator de ajuste para o dia da medição é cerca de -30min, que somado ao meio dia solar (12:00h) resultaria em uma hora oficial de 11:30h. Dessa forma já é possível comprovar a validade das expressões utilizadas e obter uma idéia inicial da precisão do instrumento.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com as medições comprovam as expressões utilizadas ao mesmo tempo em que chamam atenção para a importância da exatidão na instalação do instrumento. Pequenos erros na inclinação do plano ou da haste e na orientação do instrumento podem provocar grandes erros na sombra projetada pela haste e inviabilizar o uso do instrumento. Novas medições precisam ser executadas para que se possa avaliar corretamente a precisão do relógio solar projetado. Existe ainda a



ideia de verificar com que facilidade um observador é capaz de ler corretamente as horas neste instrumento, que poderá ser conseguida por meio de uma pesquisa junto aos próprios estudantes e funcionários do Instituto. O passo seguinte neste trabalho será o desenvolvimento do projeto arquitetônico do relógio, que será realizado com a colaboração de alunos e/ou professores da área de construção civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Naum Fraidenraich pelo apoio e esclarecimentos a cerca dos cálculos e considerações usadas em seu artigo e que foram tomados como base para desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 3ª edição, John Wiley and Sons, Inc. New York, 2006.

FREITAS, E. **Relógio Solar**. Brasil Escola. Disponível em: <www.brasilescola.com/geografia/relogio-sol.htm> Acesso em: Agosto de 2012.

LIMA, G. A.; FRAIDENRAICH, N.; OLIVEIRA, C. A. A.; VILELA, O. C. **Desenvolvimento de um relógio solar para regiões intertropicais**. In: Anais do VIII CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, pg. 112, UFPE, 2000.

RABL, A. **Active Solar Collectors and Their Applications**. Oxford University Press, 1985.

REIS, G. L.; SILVA, V. V. **Geometria Analítica**. 2ª edição, LTC, 1997.