



DESENVOLVIMENTO, EXECUÇÃO E TESTE DE SIMULADOR DE TRAJETÓRIA SOLAR APARENTE

Leandro C. Fernandes (1); Jose M. V. Grzybowski (2); Anderson A. G. A. Ribeiro (3)

(1) Me. Professor de Arquitetura e Urbanismo, fernandes.uffs@gmail.com

(2) Dr. Professor de Matemática, jose.grzybowski@uffs.edu.br

(3) Dr. Professor de Física, andersonribeiro@uffs.edu.br

Universidade Federal da Fronteira Sul, Av. Dom João Hoffmann, nº 313, Erechim/RS

CEP 99700-000, Tel. (54) 3321-7050

RESUMO

Edificações concebidas visando temperaturas e condições de iluminação interiores adequadas às atividades humanas são altamente desejáveis. Entre os aspectos de interesse para esse tipo de projetos está o controle da insolação. Para proteger ou tirar partido da radiação solar é necessário conhecer a dinâmica dos movimentos solares aparentes. Entre os meios para entendimento e aplicação dos conhecimentos relativos à geometria solar, por seu potencial de demonstração, destacam-se os aparelhos simuladores das trajetórias solares aparentes. Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um simulador de trajetória solar aparente que teve como objetivo ser adaptado à dinâmica das salas de aula, possibilitando rápida alternância entre simulações e que facilitasse o aprendizado dos conceitos relativos à geometria solar. O artigo descreve as várias etapas do processo de desenvolvimento do simulador: definição de requisitos para o aparelho; desenvolvimento do projeto; execução e verificação de problemas relativos ao primeiro protótipo; nova definição de requisitos; e desenvolvimento de novo projeto. Por fim apresenta os resultados relativos à execução do aparelho e ao seu teste em sala de aula em duas componentes curriculares.

Palavras-chave: ensino de geometria solar, heliodon, projeto de heliodon.

ABSTRACT

A highly desirable aspect in the design of buildings is that temperatures and indoor lighting conditions are suitable for human activities. One of the points of interest in this type of project is the control of sunstroke. To protect from or take advantage of solar radiation it is necessary to understand the dynamics of the apparent movements of the sun. Due to their demonstrative potential, appliances that simulate the apparent solar trajectory are relevant means for understanding and applying knowledge about the solar geometry. This paper presents the process of development of a simulator of the apparent solar trajectory that can adapt to the need of graduation classes by enabling rapid switching between simulations and the development of a didactic approach to the concepts related to solar geometry. The article describes the stages of the development process of the simulator: the definition of requirements, design, implementation and verification of problems that arouse in the first prototype; further, the redefinition of requisites and the design of a new project. Finally, the paper reports the development of the project and the performance of the device in two disciplines at graduation level.

Keywords: teaching of solar geometry, heliodon, heliodon project.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte do consumo energético de uma edificação se deve a aquecimento, resfriamento e iluminação (CUNHA, 2006). Esse consumo pode ser maior ou menor conforme a concepção do projeto arquitetônico, tirando ou não partido do clima no qual a edificação está inserida.

Olgay (2008, p.10), quando relaciona arquitetura, clima e necessidades humanas, sugere que “o processo lógico seria trabalhar com as forças da natureza e não contra elas, aproveitando suas potencialidades para criar condições de vida adequadas”. Edificações concebidas com essa idéia são denominadas por Olgay como “climaticamente equilibradas”. Entre os aspectos de interesse para projetos de edificações climaticamente equilibradas está a insolação, ao longo dos dias, meses e estações.

Entre os instrumentos didáticos para ensino das diferentes possibilidades relativas à insolação do ambiente construído em cursos de arquitetura e urbanismo, cita-se o heliodon. “Trata-se de dispositivo desenvolvido para simular a geometria solar e permitir o estudo de sombreamento através de modelos reduzidos” (SZOKOLAY, 2007, p.44). Entre outras aplicações, é utilizado para estudo de ambientes urbanos, conjuntos de edificações, edificações isoladas e protetores solares em aberturas. Possibilita visualização objetiva das áreas sombreadas e iluminadas produzidas pela interação geométrica entre o objeto estudado e a fonte luminosa. O heliodon complementa o entendimento propiciado por diagramas solares e softwares, permitindo inclusive a verificação da precisão de processos geométricos para o cálculo de áreas e horários de insolação em diferentes latitudes e dias do ano (FERNANDES e CUNHA, 2011).

Apesar da importância do equipamento, poucos são os modelos comercializados no mercado nacional. Apresentam problemas de operação, são pouco intuitivos e de alto custo.

O aparelho aqui apresentado resulta de longos estudos visando atender atividades de ensino e pesquisa no Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), criado em 2010.

2.OBJETIVO

O objetivo do presente artigo é apresentar as diferentes etapas do processo de desenvolvimento, execução e teste de um simulador de trajetória solar aparente adaptado à dinâmica das salas de aula, que possibilite rápida alternância entre simulações e que facilite o aprendizado dos conceitos relativos à geometria solar.

3.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quando da realização do estudo inicial, para especificação de equipamento disponível no mercado nacional, cumpriu-se as seguintes etapas:

- Definição de requisitos para o equipamento a ser especificado;
- Levantamento e análise de heliodons existentes;
- Verificação do atendimento aos requisitos pré-estabelecidos por parte dos aparelhos levantados;
- Compilação dos resultados, comparando os diferentes aparelhos e identificando as principais potencialidades de cada um.

As principais conclusões deste estudo foram:

- o curso precisaria de dois heliodons: um aparelho voltado mais para o ensino da geometria solar e testes com pequenos modelos; e outro mais para experimentação e testes com maquetes de maior porte;
- o mercado de aparelhos didáticos não oferecia aparelhos que atendessem os requisitos estabelecidos;
- para as necessidades levantadas era necessário desenvolver projetos específicos e executá-los.

Foram então definidas outras etapas a serem cumpridas:

- Compilação, classificação e análise dos modelos de heliodons observados;
- Identificação de aspectos dos diferentes projetos analisados que contribuíssem para o desenvolvimento de projetos de equipamentos alternativos;
- Definição das características dos aparelhos a serem propostos;
- Desenvolvimento dos projetos dos aparelhos alternativos.

O cumprimento destas novas etapas resultaram em projetos para dois aparelhos distintos:

- um aparelho voltado mais para o ensino da geometria solar e testes com pequenos modelos, aqui apresentado e denominado Modelo H1;
- e outro voltado mais para a experimentação, denominado Modelo H2.

Após a execução do primeiro protótipo do modelo H1, em 2012, foram realizadas diversas melhorias. Este artigo relata a evolução do aparelho ocorrida após a execução do primeiro protótipo, resultando ao final em equipamento substancialmente diferente da proposta original.

As etapas relativas ao projeto e execução do primeiro e do segundo protótipo do H1 foram:

- definição de requisitos para o primeiro protótipo;
- desenvolvimento do projeto para o primeiro protótipo;
- execução e verificação de problemas relativos ao primeiro protótipo;
- definição de requisitos para novo protótipo;
- desenvolvimento de novo projeto;
- execução e teste do novo protótipo.

3.1. Requisitos para o primeiro protótipo;

A definição de requisitos considerou questões identificadas em experiências com aparelhos existentes que apresentam problemas relativos à manutenção, operação, armazenagem e transporte. Os requisitos foram:

- móvel, permitindo ser transportado e instalado de modo rápido;
- que não demandasse espaço de uso exclusivo no futuro laboratório;
- de fácil manuseio;
- baixa manutenção, economizando em motores elétricos e peças sobressalentes;
- possibilitasse simular a insolação em todas as latitudes, dias do ano e horários;
- intuitivo e acessível ao público leigo (de modo a ser utilizado em eventos externos).

3.2. Projeto para o primeiro protótipo

Para simulação de todos os dias do ano de modo prático e didático decidiu-se que o aparelho deveria possuir uma “régua de dias” (Figura 1) ao invés de múltiplos arcos, a exemplo dos modelos apresentados por Souza *et al.* (2008), Olgyay (2008) e Sanchez (s.d.). Na régua estariam gravados intervalos referentes aos meses e dias de um ano. Constariam também marcações relativas aos solstícios e equinócios. As datas seriam marcadas em duas faixas. Na faixa superior estariam os dias de 21 de dezembro (solstício de verão) até 21 de junho (solstício de inverno). Na faixa inferior constariam os dias de 21 de junho até 21 de dezembro. Ao longo dessa régua correria uma lâmpada presa por uma “borboleta”, indicando o dia simulado.

A régua deveria girar em torno de um eixo (Figura 2) posicionado de acordo com a latitude (horizontal para a latitude 0°, vertical para a latitude 90° e em posições intermediárias para as demais latitudes). Ao girar em torno desse eixo, de Leste para Oeste, simularia as horas do dia, do nascer ao pôr do sol.

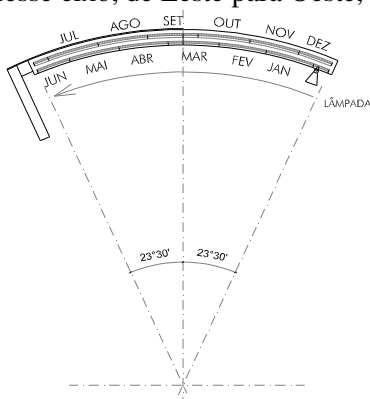


Figura 1. “Régua de dias”

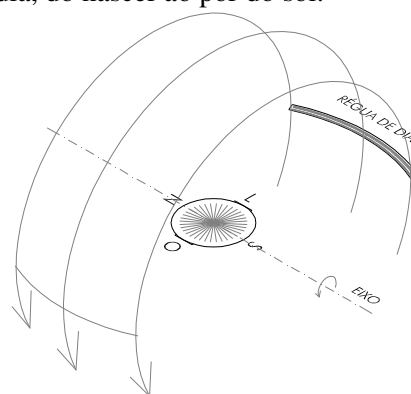


Figura 2. Movimento simulando a variação das horas do dia

Visando as necessárias articulações, o equipamento foi pensado em três partes (Figura 3):

- a base ou “corpo”, dotada de rodízios para deslocamentos, de estrutura para suportar o peso das demais partes, e um tampo para colocação das maquetes;
- o “braço”, articulado para regulagem da latitude e com marcador de horas;
- e o “antebraço”, em cuja extremidade está a “régua de dias”.

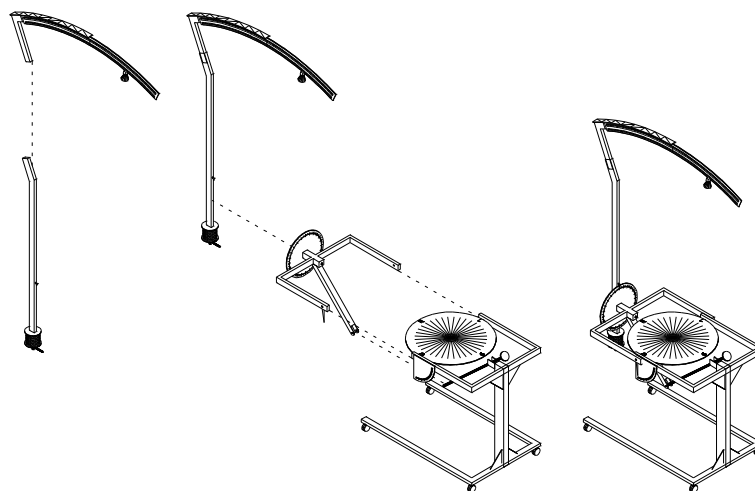


Figura 3. Ilustração das diferentes partes do equipamento proposto.

O ajuste da latitude seria feito graças à articulação do “braço” (Figura 4).

A Figura 5 ilustra a simulação de diferentes horários na latitude 0°.

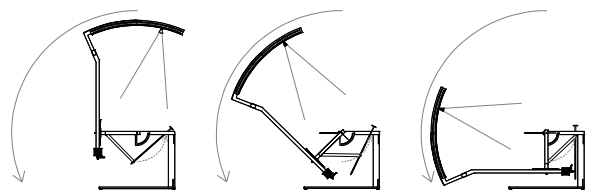


Figura 4. Regulagem da latitude. Exemplos para 0°, 45° e 90°.

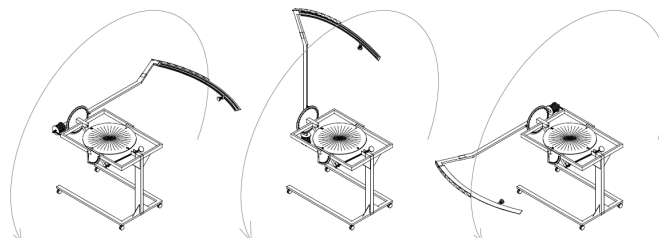


Figura 5. Simulação para diferentes horários na latitude 0°.

O heliodon previa a utilização de maquetes de até 0,70 m de largura. As dimensões do aparelho proposto, com o “antebraço” na posição vertical, eram: altura 2,80m; largura 0,75; e profundidade 1,60.

3.3. Problemas verificados na execução do primeiro protótipo

Na fabricação do protótipo (Figura 6) ficaram evidentes problemas de projeto. O protótipo em aço tornou-se excessivamente pesado. A estrutura vertical com apenas uma peça ligando o tampo à base não forneceu rigidez ao conjunto, que balançava. Foi necessário acrescentar um apoio em cada lado da mesa. Esta alteração forneceu rigidez, mas limitou os movimentos da haste para latitudes próximas de 90°. A barra rosca, utilizada como “parafuso sem fim” para flexionar o “braço” do aparelho exigia um número excessivamente alto de rotações para pequenos movimentos do braço. Substituiu-se a barra rosca por uma haste lisa com freio. No entanto este também não funcionou a contento. A “régua de dias” e a haste, ambas em aço, ficaram excessivamente pesadas e passaram a sofrer torção em algumas posições. Outro problema foram os movimentos da haste principal, que quando girava restringia o acesso à mesa. Ou seja, manteriam os alunos a 1,5 m da mesa.



Figura 6. 1º protótipo em execução.

Em resumo, o protótipo não funcionou adequadamente. A fabricação foi interrompida. Mas esta etapa permitiu grande aprendizado e forneceu subsídios para o desenvolvimento de um novo projeto.

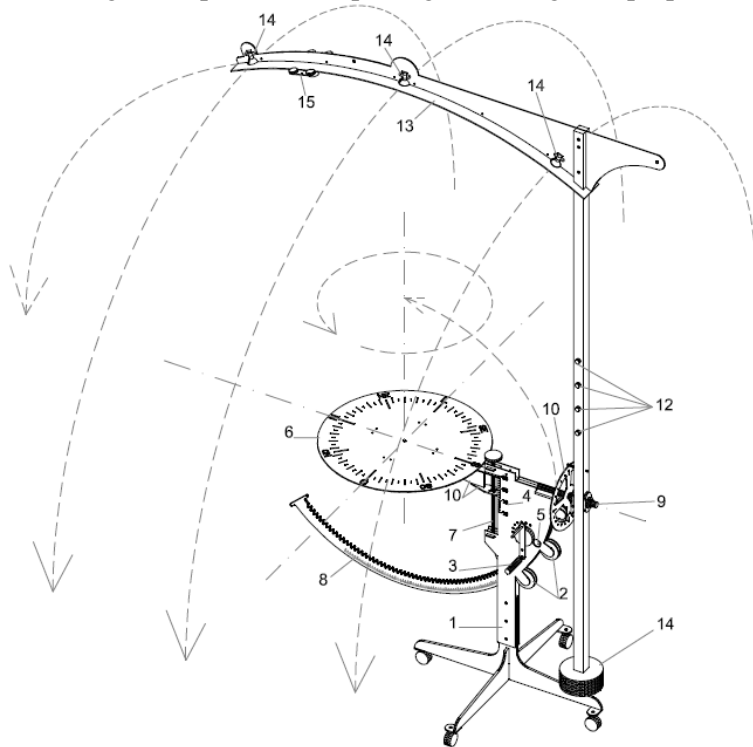
3.4. Definição dos novos requisitos

Para o novo projeto definiram-se mais alguns requisitos:

- O aparelho deveria ser mais leve;
- O apoio do conjunto deveria ficar próximo do centro de gravidade do aparelho;
- A haste principal não deveria atrapalhar a aproximação dos alunos;
- A movimentação feita para ajuste da latitude deveria ocorrer de forma mais fácil e rápida;
- O tampo da mesa deveria poder ser movimentado verticalmente.

3.5. Projeto para o segundo protótipo

A Figura 7 apresenta o aspecto geral da segunda proposta.



- 1 – base em aço e alumínio;
- 2 - roldanas;
- 3 - manivela em aço com freio;
- 4 - marcação de altura da mesa;
- 5 – leitor de latitude;
- 6 - tampo em alumínio com marcações para orientação da maquete;
- 7 - barra de aço roscada com manípulo para elevação da mesa;
- 8 - cremalheira em aço com marcações das latitudes (0° a 90°);
- 9 - eixo em aço denominado Eixo C;
- 10 – marcação das horas;
- 11 – contrapeso;
- 12 – interruptores;
- 13 – arco com marcação dos dias e meses do ano;
- 14 - lâmpadas mini-dicróicas fixas;
- 15 – carrinho de alumínio com roldanas e lâmpada mini-dicrónica.

Figura 7. Simulador de trajetória solar aparente com haste.

O aparelho é constituído por 6 partes principais:

- uma base em aço com 4 apoios com rodízios com freios;
- um suporte central, preso na base de aço, feito de chapas de alumínio paralelas;
- um tampo de alumínio para maquetes, com marcador para indicação de azimute e com regulagem de altura, em cujo centro há um eixo (A) vertical imaginário;
- uma cremalheira que gira em torno de um eixo horizontal (B) imaginário, perpendicular ao eixo A, para regulagem da latitude;
- uma haste, presa à extremidade da cremalheira, que gira em torno de um eixo móvel (eixo C, perpendicular ao eixo B);
- um arco, constituído de duas chapas de alumínio, fixo na extremidade da haste, com marcações referentes aos dias do ano e com 4 lâmpadas, uma móvel e três fixas, para simulação do sol.

3.5.1 Ajuste da latitude

Para ajustar a latitude basta girar a manivela na lateral do aparelho e travá-la na latitude desejada, conforme ilustram as Figuras 8, 9 e 10.

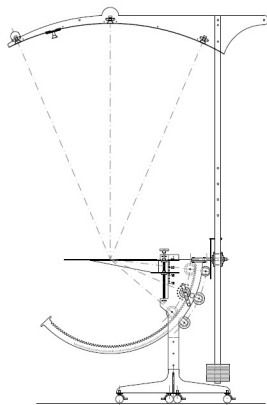


Figura 8. Posição latitude 0°.

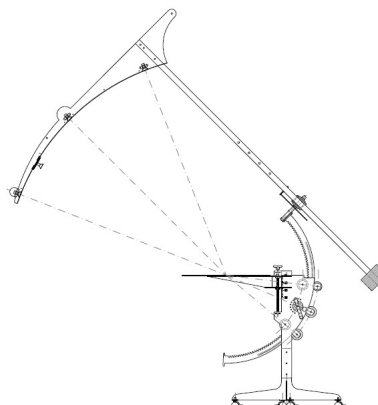


Figura 9. Posição latitude 45°.

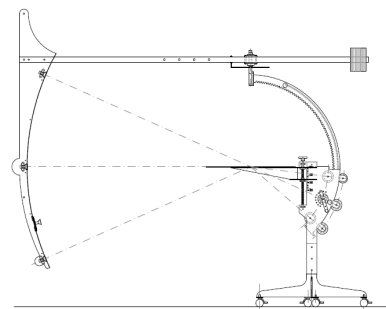


Figura 10. Posição latitude 90°.

3.5.2 Ajuste da data

O ajuste da data é feito operando as lâmpadas ao longo da “régua de dias” (Figura 11). Para analisar a insolação em determinada data é necessário que uma lâmpada esteja posicionada na marcação correspondente (1). Pode-se utilizar as lâmpadas fixas (2), correspondentes às datas pré-definidas (solstício de inverno, solstício de verão e equinócios) ou posicionar a lâmpada móvel (3) movimentando o carrinho (4) ao longo do arco.

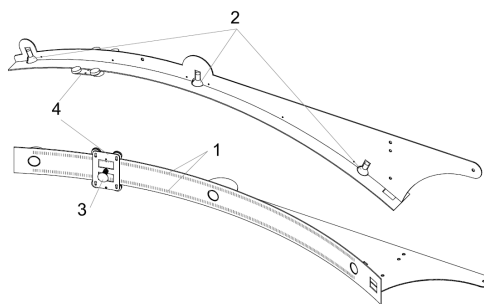


Figura 11. Marcador dos dias do ano.

3.5.3 Ajuste da hora

Para ajustar a hora da simulação basta girar a haste em torno do eixo (Figura 12) na extremidade da cremalheira.

Graças ao contrapeso o movimento é leve e suave. Quando a haste é solta esta volta suavemente para a posição vertical.

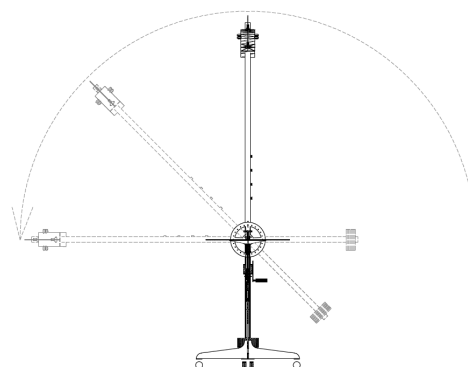


Figura 12. Exemplo para a latitude 0°, 6:00 horas.

3.5.4 Posicionamento da mesa e das maquetes

Altura da mesa: quando o objeto tiver altura menor ou igual a 15 cm a mesa deverá ser ajustada de forma que a parte superior do objeto fique na altura do marcador 0,0 cm; quando o objeto tiver altura maior que 15 cm a mesa deverá ficar na posição -15 cm.

Orientação da maquete na mesa: a orientação, em relação à marcação Norte, do objeto na mesa deverá coincidir com a orientação de projeto.

3.5.5 Precisão

O objetivo principal do modelo H1 é ser uma ferramenta para a compreensão da trajetória solar aparente. Os raios luminosos solares, devido a grande distância do sol ($1,496 \times 10^{11}$ m), chegam a Terra paralelos. Os raios luminosos oriundos das lâmpadas do H1, por estarem a 1,5 m do centro geométrico do aparelho, chegam ao objeto de interesse com direções divergentes. No centro geométrico do aparelho os ângulos dos raios luminosos apresentarão fidelidade aos dos raios solares. A diferença crescerá em razão da distância desse centro geométrico.

Para efeito de entendimento dos fenômenos relativos aos ângulos solares as dimensões dos objetos colocados no centro do aparelho, desde que não sejam maiores que a mesa suporte, terão pouca importância. Para efeito de teste de modelos reduzidos de edificações ou de partes destas, recomenda-se que o objeto não exceda um diâmetro de 30 cm e altura também de 30 cm (com a mesa na posição -15 cm).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Execução do segundo protótipo executado

A execução do segundo protótipo ocorreu sem problemas significativos.

Visando um conjunto mais leve grande parte das peças foi executada em alumínio.

O deslocamento do apoio, da parte posterior para o centro do aparelho, deu mais rigidez ao conjunto (Figuras 13 e 14). A base, executada com chapas de aço de espessura 8 mm, também contribuiu para a estabilidade.



Figura 13. Base, apoio central e cremalheira – Lat. direita.



Figura 14. Cremalheira, manivela e roldana.

A haste principal, para não atrapalhar a aproximação dos alunos, foi deslocada da parte anterior para a parte posterior do aparelho. Isso fez com que, quando simuladas latitudes próximas de 90° , ela gira-se sobre o aparelho e não abaixo. Essa mudança melhorou significativamente o projeto. Também a haste, e quase todas as peças fixadas a ela, foram executadas neste protótipo em alumínio, diminuindo o peso total. Os movimentos ficaram suaves e diminuíram os esforços sobre os rolamentos.

Para facilitar e agilizar a movimentação feita para ajuste da latitude, a barra roscada foi substituída por uma cremalheira em aço (8 mm) movida por manivela. A adoção da cremalheira em aço carbono, também contribuiu para baixar o centro de gravidade do aparelho. O movimento da manivela pôde ser realizado com facilidade graças à adoção de roldanas de nylon com rolamentos como guias (Figura 14).

Para que o tampo da mesa pudesse ser movimentado verticalmente, este, por meio de porcas, foi conectado a um “parafuso sem fim”. Detalhe importante mas que não havia sido possível no projeto anterior. Essa alteração permite minimizar os erros nas projeções. A execução ocorreu sem problemas. O movimento vertical da mesa é feito facilmente girando-se um manípulo (Figura 15).



Figura 15. Cremalheira, manivela e roldana.

A Figura 16 apresenta o aspecto final de partes do aparelho, após receber pintura e adesivos. A regulagem de altura da mesa recebeu adesivo com marcações de 0,0 a -15 cm. A cremalheira recebeu adesivos referentes às latitudes. A mesa e o marcador de horas receberam pintura branca.



Figura 16. Regulagem de altura da mesa, cremalheira e marcador de horas.

A haste de alumínio e o arco superior receberam instalação elétrica. A haste recebeu interruptores e adesivos com indicação da lâmpada que é acionada. O arco superior recebeu adesivos com a marcação das datas, lâmpadas fixas e a lâmpada com carrinho para movimentação (Figura 17).

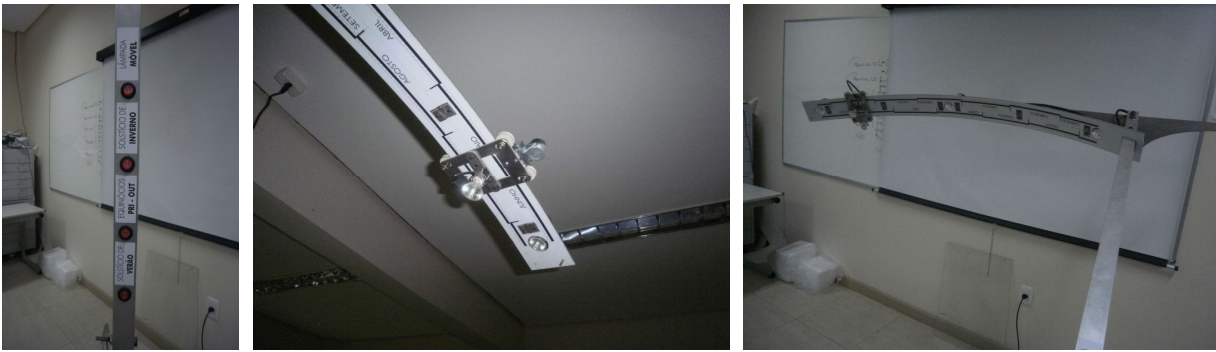


Figura 17. Interruptores, arco superior com marcação de dias e carrinho para a lâmpada móvel.

A Figura 18 apresenta o aspecto final do aparelho.



Figura 18. Aspecto final do aparelho.

4.2. Validação

Para verificação da confiabilidade do aparelho registrou-se a posição e o tamanho da sombra projetada por uma haste vertical sobre superfície horizontal tendo o Sol como fonte luminosa (Figura 19). Utilizou-se uma haste cilíndrica de madeira, com 100 mm de altura e 2 mm de diâmetro. As medições foram realizadas no município de Erechim (RS), latitude $-27,64^\circ$ e longitude $52,27^\circ$, no dia 27 de junho de 2013 em 5 diferentes horários. Utilizou-se $-16,39^\circ$ como declinação magnética para o dia especificado (NETO, C. P.; MOREIRA, 2013). Essas medições foram comparadas com resultados obtidos utilizando o heliodon (Figura 20) e dois programas, o Ecotect (Figura 21) e o AutoCAD.

As medições das projeções utilizando o heliodon foram realizadas posicionando-se a haste no centro da mesa. A mesa baixada em 100 mm, de modo que a ponta superior da haste ficasse no centro geométrico do aparelho, minimizando a possibilidade de erros nas projeções.

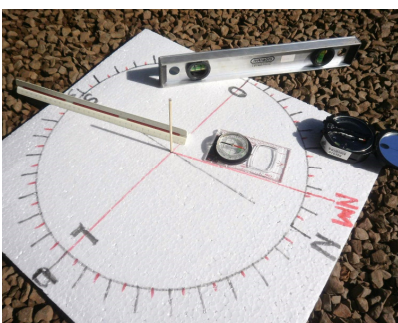


Figura 19. Sombra no dia 27/06/2013.



Figura 20. Simulação no heliodon.

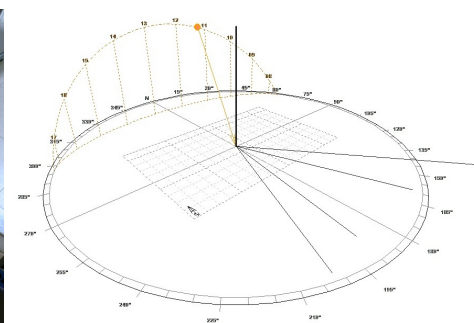


Figura 21. Simulação no Ecotect.

Para evitar erros relativos às diferenças entre o horário oficial do lugar (relativo ao fuso horário), o horário solar médio (relativo ao meridiano local) e o horário solar aparente (relacionado ao heliodon) aplicou-se a Equação 1:

$$\Delta_{\min} = \Delta_{\text{graus}} * 4 + ET$$

Equação 1

Onde:

Δ_{min} = diferença em minutos.

Δ_{graus} = Longitude local – Longitude do meridiano relativo ao fuso horário de referência.

E.T.(minutos) = Equação do Tempo (Equação 2), que expressa a diferença entre o horário solar médio e o horário solar aparente.

$$ET_{\text{min}} = 9,87 * \text{sen}(2\beta) - 7,67 * \text{sen}(\beta + 78.7^\circ) \quad \text{Equação 2}$$

β é dado pela Equação 3:

$$\beta = \frac{360 * (N - 81)}{365} \quad \text{Equação 3}$$

E N é o dia do ano (por exemplo N=1 em 1/jan e N=33 em 2/fev).

Como resultado, para se ter a simulação no heliodon do horário 12:00 no dia 27 de junho de 2013 é necessário subtrair 26 min. Ou seja, para simular o meio dia deve-se utilizar o horário 11:34 no aparelho.

Observa-se que a leitura dos azimutes no heliodon foi dificultada pela falta de marcações intermediárias e pela ausência de dispositivos para travamento do aparelho nas posições escolhidas. Questões que deverão ser tratadas em protótipos futuros.

O comprimento das sombras projetadas pelo heliodon apresentou forte correlação com o comprimento das sombras projetadas pelo Sol ($R^2 = 0,9987$), pelo programa Ecotect ($R^2 = 0,9982$) e pelo programa AutoCAD 2011 ($R^2 = 0,9982$) (Figura 22).

O azimute das sombras projetadas pelo heliodon também apresentou forte correlação com o das sombras projetadas pelo Sol ($R^2=0,9922$), pelo Ecotect ($R^2 = 0,9962$) e AutoCAD 2011 ($R^2=0,9967$) (Figura 23).

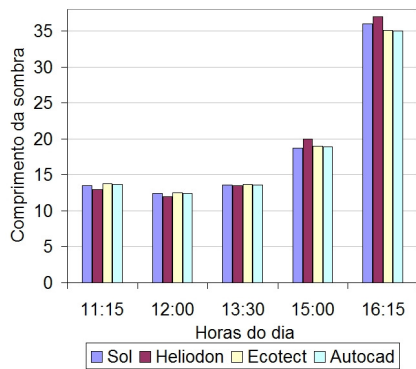


Figura 22. Comprimento das sombras em diferentes horários

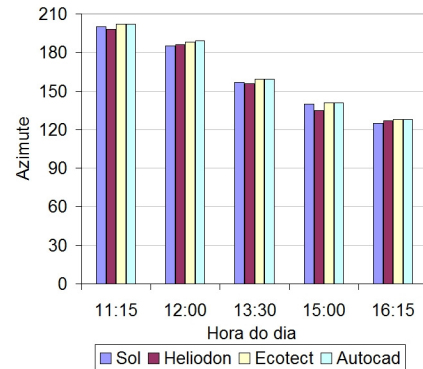


Figura 23. Azimute das sombras em diferentes horários

Para maior confiabilidade também foram realizados testes para diferentes latitudes, datas e horários, comparando-se as projeções obtidas através do heliodon com as projeções obtidas por meio do programa AutoCAD 2011. As projeções deste programa foram usadas como referência por apresentarem forte correlação com as sombras projetadas pelo Sol (para comprimento $R^2=0,9996$ e para azimute $R^2=0,9987$). Não foram realizadas novas comparações com as projeções obtidas por meio do programa Ecotect porque estas apresentaram forte correlação ($R^2=1$) com as obtidas por meio do AutoCAD 2011. Realizaram-se comparações para as latitudes 0° , 15° e 30° . Para cada latitude simulou-se 3 dias do ano, 20/junho, 20/setembro e 20/dezembro. Para cada dia simulou-se 3 horários, 9 horas, 12 horas e 15 horas, totalizando 27 casos analisados. Para o comprimento da sombra obteve-se $R^2=0,9976$ (Figura 24) e Erro Médio 2 mm. Para o azimute obteve-se $R^2=0,9991$ (Figura 25) e Erro Médio $2,5^\circ$.

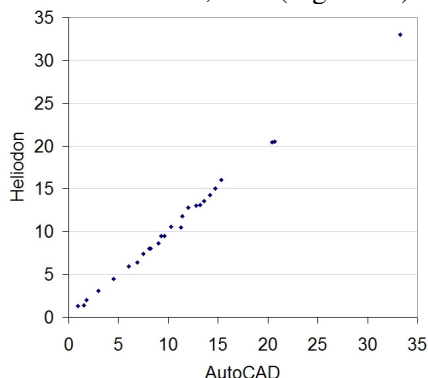


Figura 24. Comprimento sombra Heliodon X AutoCAD2011.

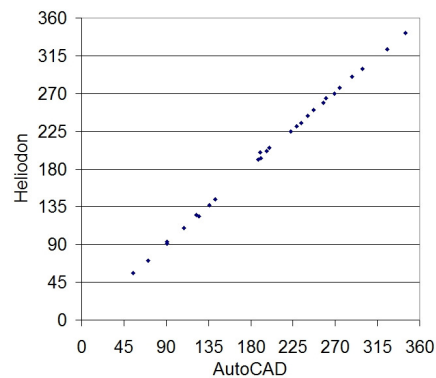


Figura 25. Azimute sombra Heliodon X AutoCAD2011.

Confirmado o bom funcionamento do aparelho, este passou a ser utilizado no curso de arquitetura e urbanismo no 2º semestre letivo de 2012. Como demanda pouco espaço, o heliodon ficou locado no próprio ateliê. Sua utilização fez parte das atividades da disciplina “Projeto Arquitetônico VI”. Tanto alunos quanto professores referiram-se ao aparelho como de fácil compreensão e manuseio.

Graças à sua mobilidade, também foi utilizado na componente curricular “Conforto Ambiental: Térmico”, em sala próxima ao ateliê, em atividades relativas ao estudo de dispositivos para sombreamento e análise de projetos.

5. CONCLUSÕES

O processo para desenvolvimento, constantemente revisto, a execução e os teste permitiram concluir que o aparelho é adequado às necessidades do curso de arquitetura e urbanismo da UFFS.

A utilização em sala de aula corroborou esta conclusão. A facilidade de operação, o controle da velocidade dos movimentos, a possibilidade de rápida alternância entre simulações distintas, entre outras características do aparelho, mostrou que o simulador de trajetória aparente desenvolvido está adaptado à dinâmica das salas de aula e contribui significativamente para aprendizado dos conceitos relativos à geometria solar e sua aplicação na arquitetura e urbanismo e outras áreas.

A segunda proposta atende a todos os requisitos estabelecidos no início e no decorrer do processo de desenvolvimento: é móvel; não demanda espaço de uso exclusivo; é de fácil manuseio; baixa manutenção; possibilita simular a insolação em todas as latitudes, dias do ano e horários; intuitivo e acessível ao público leigo; leve; estável; permite que o aluno se aproxime do objeto testado; a movimentação é fácil e rápida; e o tempo da mesa pode ser movimentado verticalmente minimizando erros de projeção.

Além de permitir a rápida alternância entre datas, ao toque de um interruptor, também possibilita a simulação simultânea de até 3 dias do ano.

Para os autores, após verificar a apropriação do aparelho por alunos e professores, e considerando sua mobilidade, pequenas dimensões e facilidade de uso, o heliodon proposto apresenta potencial para vir a ser um equipamento de ateliê, como mesas de corte, de luz e pranchetas, ao invés de ficar restrito ao laboratório de conforto ambiental.

Estudos relacionando a distância das lâmpadas ao centro do aparelho, tamanho das maquetes e seu posicionamento estabelecerão parâmetros e limites para seu uso enquanto instrumento de testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, E. G. (org.). **Elementos de arquitetura de climatização natural**. 2ª edição. Porto Alegre: Masquatro, 2006.
- FERNANDES, L. C. ; CUNHA, E. G. **Ensino de Geometria Solar: Proposta de Heliodon Alternativo**. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2011, Armação de Búzios. Anais: XI ENCAC - VII ELACAC, 2011.
- OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 1ª edição. 5ª reimpressão. Espanha: Gustavo Gili, 2008.
- SANCHEZ , J. E. M.. **Heliodon Universal: Simulador Solar**. Tecnológico de Colima. Colima Col. s.d. Disponível em: <<http://www.heliodon.com.mx>>. Acesso em: 15 nov. 2010.
- SOUZA, M. B.; DUARTE, D.; RONCONI, R. **Pesquisa, Projeto e Construção de Ferramentas de Ensaio para Modelos Físicos em Conforto Ambiental: Heliodon**. In: NUTAU 2008 -, 2008, São Paulo. O Espaço Sustentável Inovações em Edifícios e Cidades. São Paulo : NUTAU, 2008. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/publicacoes_labaut/nutau2008_heliodon.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2010.
- SZOKOLAY, S. **Solar Geometry**. PLEA Notes. Passive and Low Energy Architecture International em associação com University of Queensland: Department of Architecture. 2007. Disponível em: <<http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/Document>>. Acesso em: 10 abr. 2011.
- NETO, C. P.; MOREIRA, J. L. K. **Declinação Magnética - ON**. Rio de Janeiro: Observatório Nacional. 2013 [Acesso em 27 de junho de 2013]. Disponível em: <http://obsn3.on.br/~jlk/magdec/index.html>