

RELATÓRIO TÉCNICO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP



Nº3: Comparação entre Actinógrafos

Março-2016

Índice

1. Introdução e Objetivos.....	9
2. Informações técnicas dos modelos 58d e 58dc.....	12
3. Obtendo os valores a partir dos registros diagramas	16
4. Comparação entre o Actinógrafo Antigo (Instrumento 1) e com o Actinógrafo Novo (Instrumento 2).....	19
5. Referências Bibliográficas	23

Tabelas

Tabela 1 – Correlação e Teste T para cada mês de 2014	20
---	----

Figuras

Figura 1 – Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58c, da R. Fuess, modelo que não é utilizado na EM-IAG-USP, onde são usados os modelos 58d e 58dc. É possível observar que é necessário remover toda a capa de proteção para trocar o diagrama, expondo os sensores bimetálicos.....	9
Figura 2 – Capa do panfleto de informações do Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58d, da R. Fuess (Instrumento 1, conforme identificado anteriormente).....	10
Figura 3 – Capa do panfleto de informações do Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58dc, da R. Fuess (Instrumento 2, conforme identificado anteriormente).....	11
Figura 4 – Cúpula dos modelos 58d e 58dc (são iguais), mostrando a tira bimetálica partida, formando 3 tiras, sendo a central na cor preta e as laterais na cor branca.....	12
Figura 5 – Detalhe do sistema de gravação e da abertura da porta de acesso ao tambor.....	13
Figura 6 – Espectro Eletromagnético.....	14
Figura 7 – Sílica gel, substância higroscópica, ou seja, que absorve a umidade presente nas áreas da cúpula do instrumento e do tambor (a), evitando a condensação. A substância é coberta por uma solução de cloreto de cobalto II, que serve como indicador de umidade. Quando a sílica gel está seca, ela fica na cor azul (b). E quando já está saturada de umidade, fica rosada.....	14
Figura 8 – Exemplo de diagramas 158m (modelo 58d, parte superior da foto) e 158k (modelo 58dc, parte inferior da foto).....	15
Figura 9 – SOKKIA® Planix 7 Digital Planimeter - 050695-1.....	16
Figura 10 – Exemplo de planilha de dados e cálculos de Irradiação Solar Total e Insolação.....	19
Figura 11 – Gráficos de dispersão de Irradiação Solar Total (cal/cm ²) usando registros do Actinógrafo Antigo e do Actinógrafo Novo. Da letra a) até a letra l), temos gráficos para cada um dos meses do ano.....	21
Figura 12 – Totais diários de Irradiação Solar Total (cal/cm ²) usando registros do Actinógrafo Antigo (linha vermelha) e do Actinógrafo Novo (linha azul). Da letra a) até a letra l), temos gráficos para cada um dos meses do ano.....	23



1. Introdução e Objetivos

Esta publicação apresenta a comparação entre dois Actinógrafos Bimetálicos Robitzsch, da R. Fuess:

- **Instrumento 1 – Actinógrafo Antigo:** Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58d, da R. Fuess, FUESS NR. C9869 fabricado em 29.03.1960 (Figura 2)
- **Instrumento 2 – Actinógrafo Novo:** Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58dc, da R. Fuess, FUESS NR. K7824 fabricado em 11.06.2010 (Figura 3)

De acordo com o fabricante, o Instrumento 2 e o Instrumento 1 tratam-se de uma versão melhorada de um instrumento que ainda hoje é fabricado pela R. Fuess, o Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58c. O modelo 58c apresenta a desvantagem de ser necessário remover toda a parte superior do instrumento para trocar o diagrama. Isso expõe os sensores (tiras bimetálicas), que podem ser danificados se a troca ocorrer durante a chuva, por exemplo. Além disso, o manuseio e a frequente abertura prejudicavam o equilíbrio térmico do equipamento, causando alterações nas medições. Os modelos 58d e 58dc não possuem esse inconveniente, uma vez que o tambor onde o diagrama é colocado fica em um compartimento separado (Figura 1).

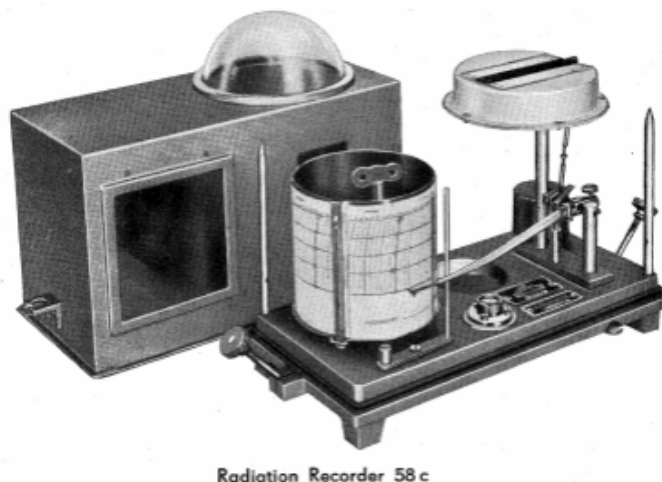


Figura 1 – Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58c, da R. Fuess, modelo que não é utilizado na EM-IAG-USP, onde são usados os modelos 58d e 58dc. É possível observar que é necessário remover toda a capa de proteção para trocar o diagrama, expondo os sensores bimetálicos¹.

De acordo com o material impresso disponível com os modelos 58d e 58dc, o instrumento “se revelou durante anos com eficaz para aplicações em meteorologia e climatologia”².

¹ <http://www.rfuess-mueller.de/251-0E.pdf>

² <http://www.rfuess-mueller.de/251-2E.pdf>

Os instrumentos 58c, 58d e 58dc registram a variação da intensidade de radiação solar global, isto é, a radiação solar recebida diretamente do Sol e do céu sobre uma superfície horizontal. São instrumentos de fácil instalação, operação e manutenção.

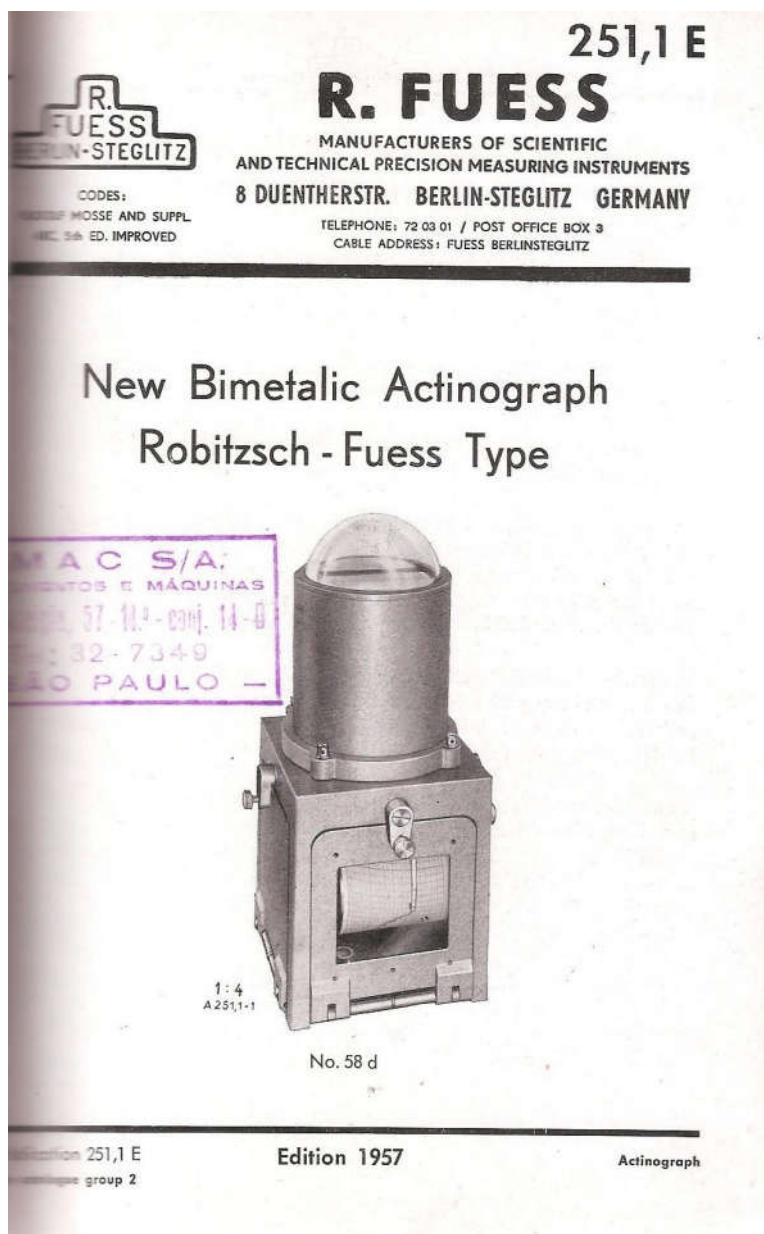


Figura 2 – Capa do panfleto de informações do Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58d, da R. Fuess (Instrumento 1, conforme identificado anteriormente).



Bimetallic Actinograph, Robitzsch-Fuess Type 58dc



Figura 3 – Capa do panfleto de informações do Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58dc, da R. Fuess (Instrumento 2, conforme identificado anteriormente).

O modelo 58c (Figura 1) difere com relação aos modelos 58d (Figura 2) e 58dc (Figura 3) por não possuir tiras bimetálicas duplicadas. A duplicação das tiras bimetálicas permitiu uma melhor segurança no sistema de medição, o que permitiu aumentar o tamanho do diagrama e melhorar a precisão do registro.

O Instrumento 1 (Figura 2) e o Instrumento 2 (Figura 3), ou seja, os modelos 58d e 58dc, são os utilizados na EM-IAG-USP e ao longo desse relatório técnico serão discutidos registros desses dois instrumentos feitos diariamente ao longo do ano de 2014.

Os modelos 58d (Figura 2) e 58dc (Figura 3) possuem algumas diferenças visuais, como diferenças no sistema de fechamento dos compartimentos e alterações na pena registradora. No entanto, os sensores bimetálicos dos dois instrumentos são do mesmo tipo. No capítulo seguinte, serão apresentadas mais informações técnicas que se aplicam aos modelos 58d e 58dc.

2. Informações técnicas dos modelos 58d e 58dc.

O sistema de medição consiste em uma tira bimetálica que tem uma dupla fenda, formando assim 3 tiras (Figura 4). As duas tiras exteriores são de cor branca, enquanto que a interior, que está conectada ao sistema registrador, é da cor preta.



Figura 4 – Cúpula dos modelos 58d e 58dc (são iguais), mostrando a tira bimetálica partida, formando 3 tiras, sendo a central na cor preta e as laterais na cor branca.

Dessa maneira, a três tiras estão interligadas entre si e com o sistema de gravação (Figura 5) de maneira a compensar a influência da temperatura e garantindo que a posição da pena registradora seja determinada apenas pela energia da irradiação solar total.



Figura 5 – Detalhe do sistema de gravação e da abertura da porta de acesso ao tambor.

O sistema de medição é protegido contra a influência de intempéries e isso é feito cobrindo as tiras com uma cúpula de vidro polido. E para evitar a condensação no interior do vidro e manter o instrumento seco, dois compartimentos removíveis preenchidos com “Sílica gel” estão presentes no instrumento (Figura 7).

A sensibilidade do instrumento compreende todo o espectro de radiação, proveniente diretamente do Sol e espalhada no céu, com exceção das regiões do espectro eletromagnético que são absorvidas pela cúpula de vidro (ultravioleta e infravermelho distante, regiões que contribuem pouco para a energia solar total).

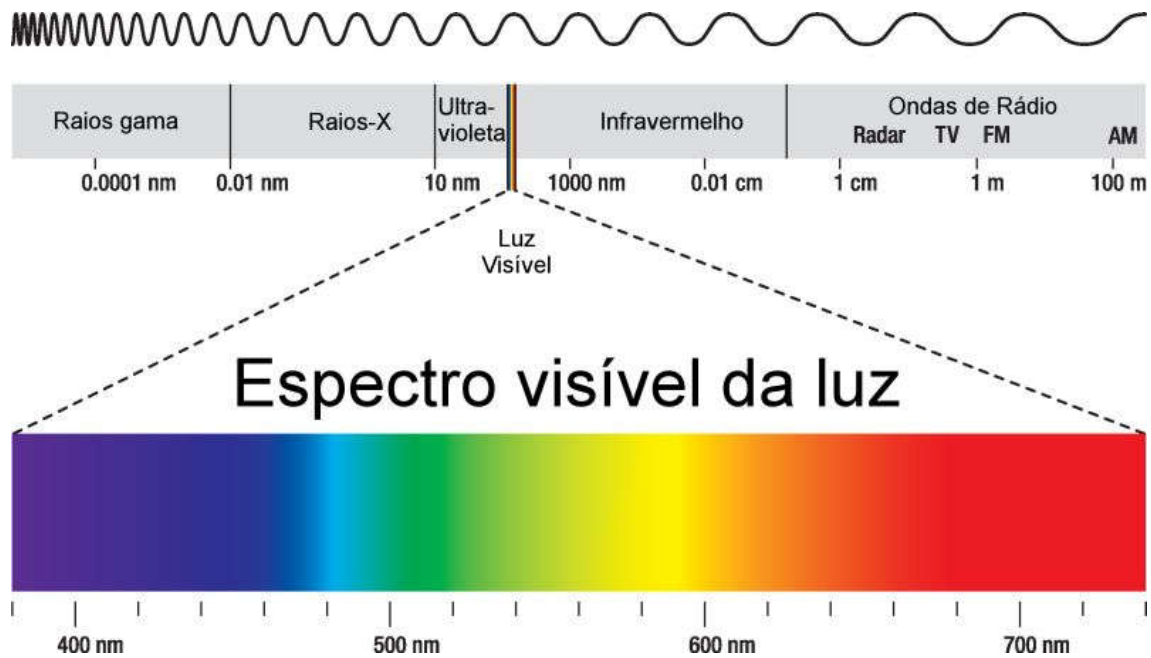


Figura 6 – Espectro Eletromagnético.



a)



b)

Figura 7 – Sílica gel, substância higroscópica, ou seja, que absorve a umidade presente nas áreas da cúpula do instrumento e do tambor (a), evitando a condensação. A substância é coberta por uma solução de cloreto de cobalto II, que serve como indicador de umidade.

Quando a sílica gel está seca, ela fica na cor azul (b). E quando já está saturada de umidade, fica rosada.



De acordo com Götz e Casparis (1947), as tiras bimetálicas expostas à radiação foram arranjadas dentro da cúpula e encaixadas em uma superfície clara que protege a parte de baixo (Figura 4) das tiras contra a radiação solar difusa. Isso reduz a influência sazonal, assim como a influência azimutal do Sol no coeficiente de calibração e assim facilitando a avaliação do resultado registrado.

Conforme discutido na seção 0, esse relatório técnico avaliará dois instrumentos:

- **Instrumento 1:** Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58d, da R. Fuess, FUESS NR. C9869 fabricado em 29.03.1960 (Figura 2)
- **Instrumento 2:** Actinógrafo Bimetálico Robitzsch 58dc, da R. Fuess, FUESS NR. K7824 fabricado em 11.06.2010 (Figura 3)

Esses dois instrumentos possuem toda a parte de sensores e cúpula idênticos, com diferenças apenas externas, como já foi discutido. Como há diferenças nos braços registradores, os modelos de diagramas utilizados são ligeiramente diferentes. Para o modelo 58d utiliza-se o modelo de diagrama 158m e para o modelo 58dc utiliza-se o modelo de diagrama 158k.

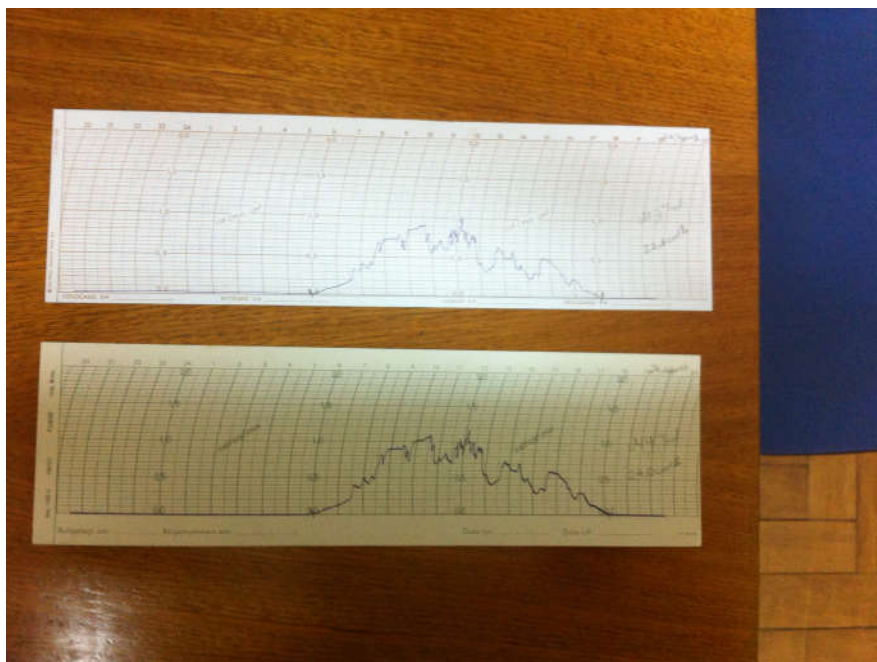


Figura 8 – Exemplo de diagramas 158m (modelo 58d, parte superior da foto) e 158k (modelo 58dc, parte inferior da foto).

3. Obtendo os valores a partir dos registros diagramas

É possível fazer a leitura do valor instantâneo de Irradiação Solar Total observando o diagrama (que para os dois modelos, possui unidade de cal/cm².min). Entretanto, na EM-IAG-USP é feita a integral da curva, obtendo assim o valor de cal/cm².dia. Esse procedimento é feito usando o planímetro, instrumento utilizado para medir qualquer área em uma superfície plana. O planímetro utilizado na EM-IAG-USP é da marca Sokkia (SOKKIA® Planix 7 Digital Planimeter - 050695-1), mostrado na Figura 9.



Figura 9 – SOKKIA® Planix 7 Digital Planimeter - 050695-1³⁴.

Esse planímetro foi o utilizado em todos os diagramas do ano de 2014, cujos dados serão analisados nos capítulos posteriores.

Com o planímetro, obtém-se a área em cm² e obtém-se o valor da radiação solar total (J/m²) da seguinte maneira:⁵

$$Q = k.A.F \quad (\text{eq. 3.1})$$

- k é um fator de calibração do instrumento;
- A é área compreendida entre a linha do registro e a linha horizontal dos valores mínimos do registro durante o período, obtida com o planímetro;
- F é um fator de correção sazonal.

³ <https://us.sokkia.com/products/levels-accessories/planimeters>

⁴ https://us.sokkia.com/sites/default/files/planix-6-7/brochure/planix67_product_brochure.pdf

⁵ As informações sobre os procedimentos de obtenção da Irradiação Solar Total estão descritos no Relatório Técnico n°1, disponível no site http://www.estacao.iag.usp.br/Relatorios/relat_2010_1.pdf



O fator k é numericamente igual à irradiação solar global diária por unidade de área integrada entre aquelas linhas e, no procedimento atual, vale:

$$k = 1,022 \cdot 14,25 = 14,5635 \quad (\text{eq. 3.2})$$

Sendo 1,022 um fator adimensional de conversão entre duas escalas radiométricas, a *World Radiometric Reference Scale* (Fröhlich, 1991), atualmente em vigor e a *International Pyrheliometric Scale* (Thekaekara, 1976) à qual o instrumento foi originalmente calibrado em 1960, e 14,25 o fator de calibração fornecido pelo fabricante, em cal/cm^2 de energia radiante por centímetro quadrado de área integrada.

Posteriormente, o fator k é convertido de cal/cm^2 para J/m^2 . O fator F na equação (3.1) corresponde a uma correção sazonal proposta pelo fabricante do instrumento, que apresenta a seguinte aproximação:

$$F = 0,734 + 0,00641 \cdot h_o - 0,000033 \cdot h_o^2 \quad (\text{eq. 3.3})$$

sendo h_o a elevação solar no instante da passagem meridiana (meio-dia solar), que é expressa por:

$$h_o = \frac{a \sin(\sin \varphi \sin \delta_0 + \cos \varphi \cos \delta_0) \cdot 180^\circ}{\pi} \quad (\text{eq. 3.4})$$

sendo φ a latitude do ponto de observação e δ_0 a declinação solar para a data de interesse. A declinação solar se refere ao ângulo formado entre a linha que liga o centro do sol ao centro da terra e o plano do Equador, e pode ser calculada de acordo com a expressão abaixo, conforme Paltridge e Platt, 1976.

$$\delta_0 = \left[0,006918 - 0,399912 \cos \Theta_n + 0,070257 \sin \Theta_n - 0,006758 \cos (2\Theta_n) + \right. \\ \left. + 0,000907 \sin (2\Theta_n) - 0,002697 \cos (3\Theta_n) + 0,00148 \sin (3\Theta_n) \right] \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (\text{eq. 3.5})$$

$$\Theta_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot dn}{365} \quad (\text{eq. 3.6})$$

sendo dn uma variável inteira associada à data de interesse, assumindo o valor zero para o dia primeiro de janeiro, o valor 365 para o dia 31 de dezembro, e – em anos bissextos – o mesmo valor para os dias 28 e 29 de fevereiro. Estas aproximações seguem o que é descrito em Paltridge e Platt, 1976 (pp.57-63); Davies, 1982 e Kiehl et al., 1996.

Avaliações da irradiação solar global diária são posteriormente submetidas a duas interpretações. A primeira delas procura referir tais avaliações àquelas que seriam efetuadas por um instrumento sensível a uma região mais larga do espectro solar, mais explicitamente por um piranômetro dotado de cúpulas Schott WG295. Valores desta “estimativa piranômetro” Q' são obtidas aplicando-se a seguinte relação:



$$Q' = 7,86 + 1,25 \cdot Q \quad (\text{eq. 3.7})$$

A relação 3.7 foi derivada a partir de observações simultâneas efetuadas entre julho e dezembro de 1976 com o actinógrafo Fuess 58d em uso, e um piranômetro espectral Eppley, ambos calibrados em relação à International Pyrheliometric Scale. A segunda interpretação efetuada para avaliações de Q ocorre em termos da transmissão global diária da atmosfera, ou seja, do quociente entre a irradiação solar global diária observada à proximidade do solo e aquela que seria observada se o instrumento estivesse instalado acima da atmosfera terrestre. Esta última quantidade pode ser expressa como (Paltridge e Platt, 1976, pp. 66-67):

$$Q_0 = \left(\frac{1}{d}\right)^2 \cdot E_0 \cdot [2 \cdot H \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta_0 + 2 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta_0 \cdot \sin H] \cdot \frac{86400s}{360^\circ} \quad (\text{eq. 3.8})$$

sendo d o fator de correção da distância Terra-Sol em unidades astronômicas para a data de interesse que pode ser calculada a partir da seguinte aproximação polinomial (Paltridge e Platt, 1976, pp.57-63):

$$\left(\frac{1}{d}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cdot \cos \Theta_n + 0,001280 \cdot \sin \Theta_n - 0,000719 \cdot \cos (2\Theta_n) + 0,000077 \cdot \sin (2\Theta_n) \quad (\text{eq. 3.9})$$

E_0 é a constante solar corrigida segundo às características do instrumento empregado na avaliação de Q_0 . O valor utilizado é $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$, empregado em modelos numéricos de circulação geral, concebidos para estudos climáticos (Kiehl et al., 1996) e compatível com observações efetuadas por radiômetros instalados em satélites artificiais (Mecherikunnel, 1996).

E finalmente, H representa o ângulo horário no momento do ocaso solar (pôr-do-sol), e é dado por:

$$H = \text{acos} (- \tan \varphi \cdot \tan \delta_0) \quad (\text{eq. 3.10})$$

O procedimento descrito acima foi introduzido paulatinamente ao longo do ano de 1998, sendo desde então utilizado na organização de dados atuais e pretéritos de radiação solar.

Todos esses cálculos são tradicionalmente realizados em uma pasta de trabalho anual, arquivo típico do Microsoft Excel. Nessa pasta de trabalho, há planilhas para cada um dos meses do ano. Além da obtenção da radiação solar total, a planilha contém também

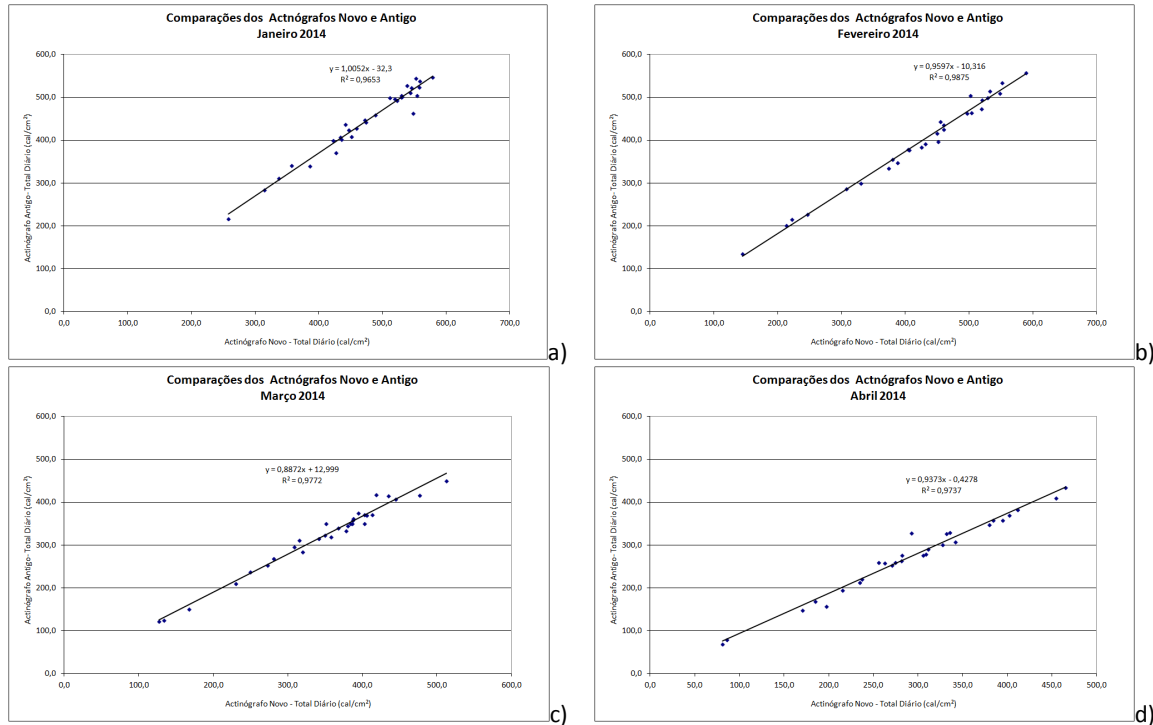


Tabela 1 – Correlação e Teste T para cada mês de 2014.

Mês	R ²	Teste T
jan/14	0,965	0,16
fev/14	0,988	0,36
mar/14	0,977	0,24
abr/14	0,974	0,45
mai/14	0,993	0,56
jun/14	0,991	0,63
jul/14	0,994	0,70
ago/14	0,985	0,50
set/14	0,978	0,45
out/14	0,994	0,33
nov/14	0,989	0,35
dez/14	0,993	0,34

Analisando as séries de dados do Actinógrafo Antigo e do Actinógrafo Novo com valores diários de cada um dos meses de 2014 (Figura 12), verifica-se que há uma tendência de que o valores obtidos com o Actinógrafo Novo sejam maiores que o Actinógrafo Antigo e isso pode ter relação direta com a idade do instrumento. Instrumentos mais velhos já estão com a pintura das tiras bimetálicas bem gastas, o que interfere na medição. Além disso, apesar de a cúpula estar bem selada, pequenas micropartículas de poeira podem se acumular na cúpula ao longo dos anos, o que prejudica a quantidade de radiação solar recebida pelos sensores bimetálicos.

Outra conclusão obtida a partir da Figura 12 é que a diferença entre os dados Actinógrafo Antigo e do Actinógrafo Novo é maior para valores maiores Irradiação Solar Total, independentemente do mês do ano.



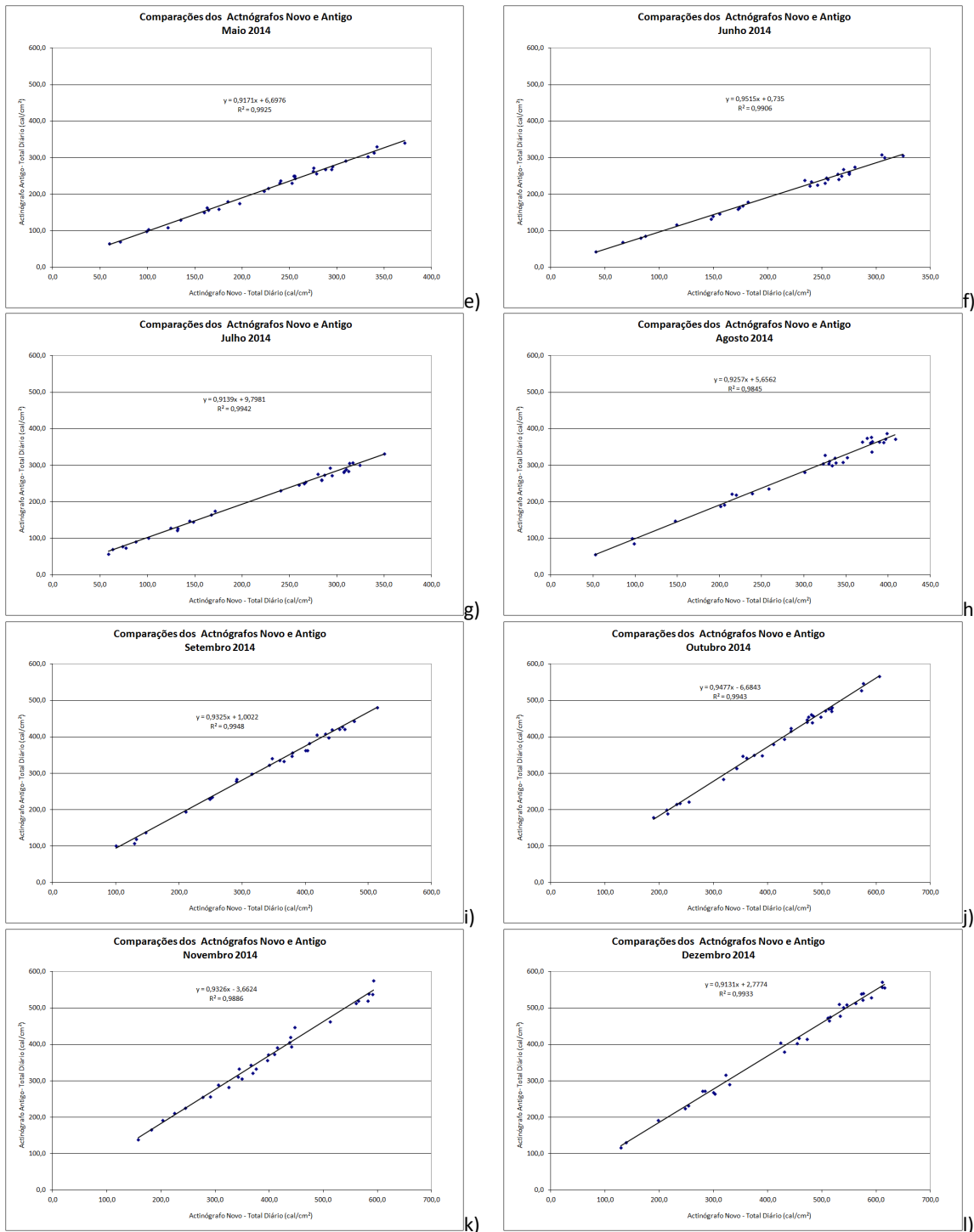
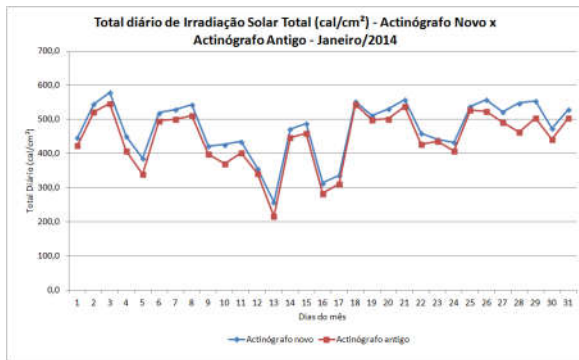
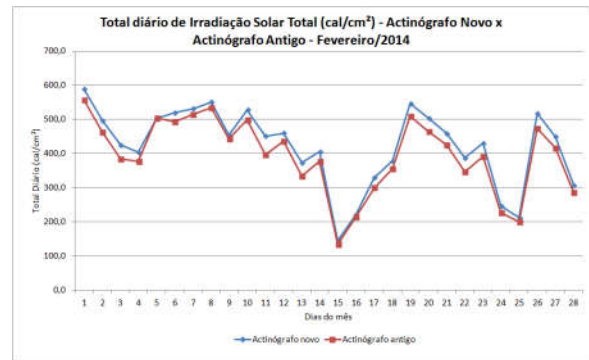


Figura 11 – Gráficos de dispersão de Irradiação Solar Total (cal/cm²) usando registros do Actinógrafo Antigo e do Actinógrafo Novo. Da letra a) até a letra l), temos gráficos para cada um dos meses do ano.

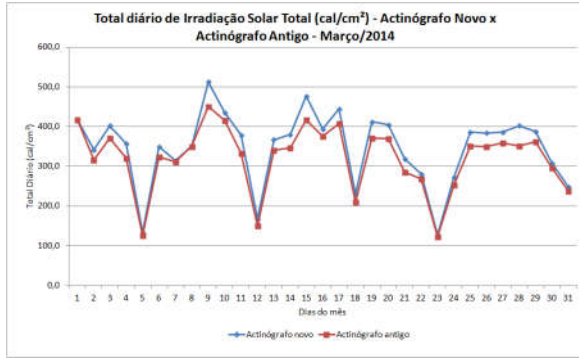




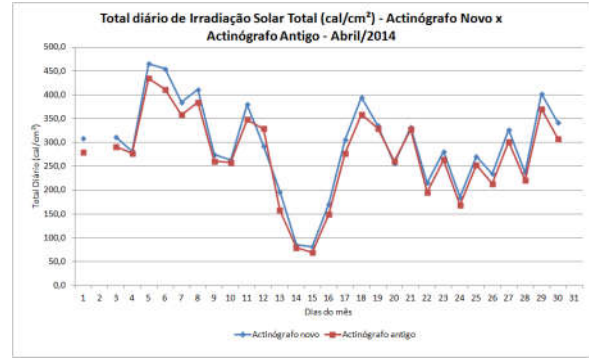
a)



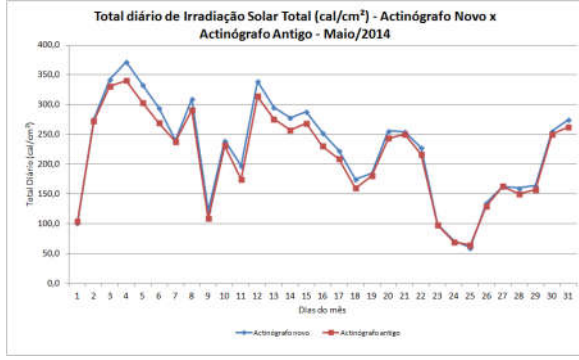
b)



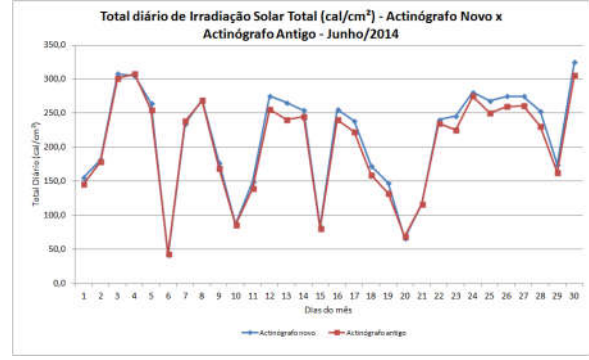
c)



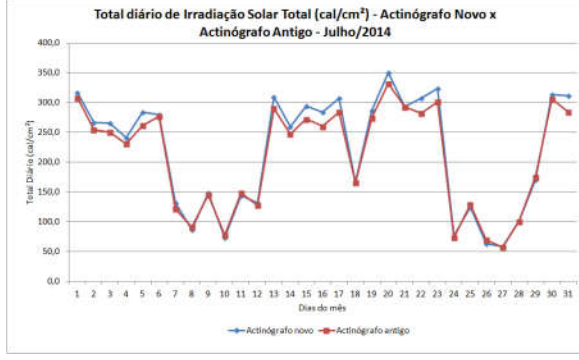
d)



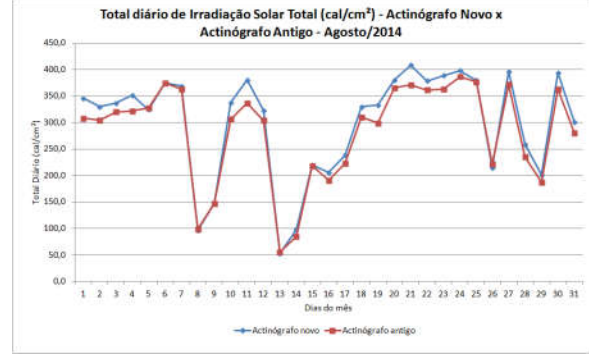
e)



f)



g)



h)



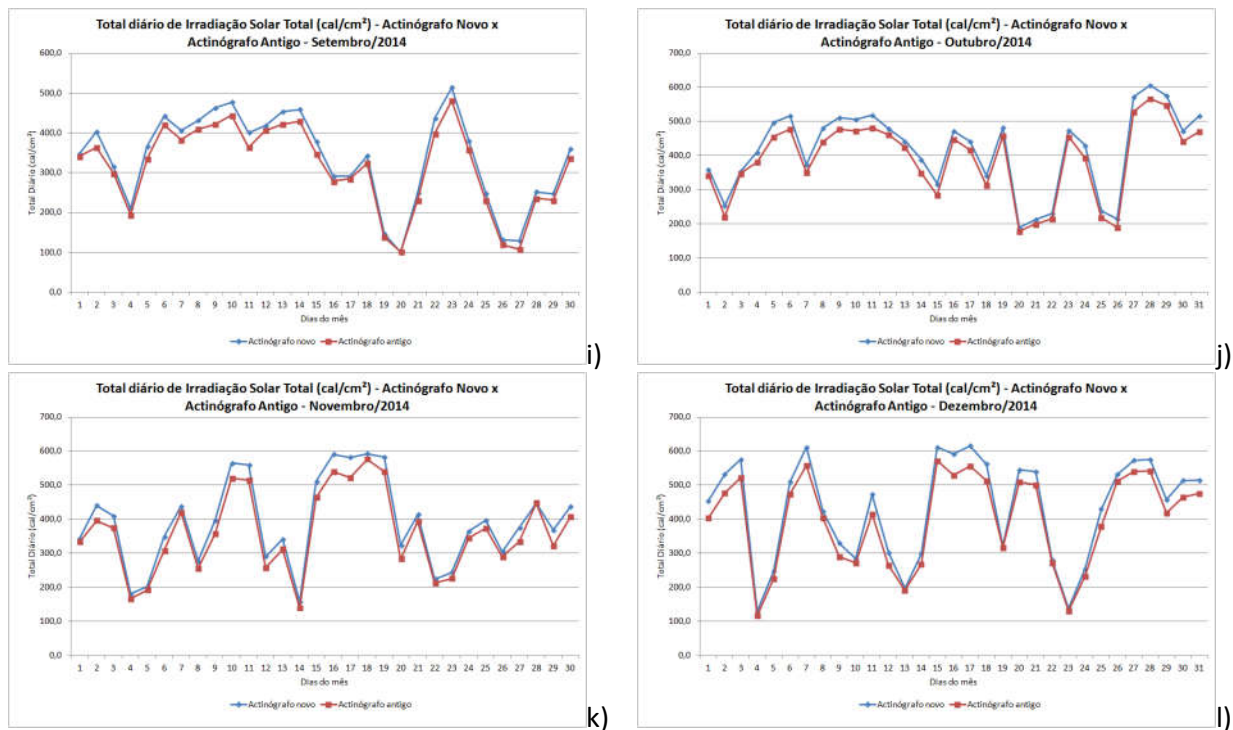


Figura 12 – Totais diários de Irradiação Solar Total (cal/cm²) usando registros do Actinógrafo Antigo (linha vermelha) e do Actinógrafo Novo (linha azul). Da letra a) até a letra l), temos gráficos para cada um dos meses do ano.

5. Referências Bibliográficas

- Davies, R. – 1982 – “Documentation of the Solar Radiation Parameterization in the GLAS Climate Model”. NASA Tech. Memo. No.83961, 57pp., Goddard Space Flight Center, Greenbelt.
- Fröhlich, C. – 1991 – History of solar radiometry and the World Radiometric Reference. *Metrologia*, 28: 111-115.
- Götz, F.W.P; Casparis, P. H. – 1947 – Zur Methodik des Aktinographen Robitzsch. *Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich*92, 1947
- Kiehl, J.T., J.J. Hack, G.B. Bonan, B.A. Boville, B.P. Briegleb, D.L. Williamson & P.J. Rasch – 1996 – “Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3)”. Publ. NCAR/TN-420+STR, 152pp., National Center for Atmospheric Research, Boulder.
- Mecherikunnel, A.T. – 1996 – Solar total irradiance observations from spacecraft: 1992-1993. *Journal of Geophysical Research*, 101(A8): 17073-17079.
- Paltridge, G.W. & Platt, C.M.R. – 1976 – “Radiative Processes in Meteorology and Climatology”. Elsevier.
- Thekaekara, M.P. (1976): Solar radiation measurement: techniques and instrumentation. *Solar Energy*, 18: 309-325

